
22500817541

# GESAMMELTE ABHANDLUNGEN

ZUR ALLGEMEINEN

# MUSKEL- UND NERVENPHYSIK

VON

EMIL DU BOIS-REYMOND.

ZWEITER BAND.

MIT XXI IN DEN TEXT GEDRUCKTEN HOLZSCHNITTEN, ZWEI TABELLENBOGEN UND DREI TAFELN.

---

LEIPZIG
VERLAG VON VEIT & COMP.
1877.

# Vorrede zum zweiten Bande.

Der zweite Band dieser Sammlung weicht vom ursprünglichen Plan ab, indem er eine bisher ungedruckte Abhandlung bringt. Bei genauerer Erwägung fand sich, dass mein 1858 in der Akademie gehaltener öffentlicher Vortrag 'Ueber lebend nach Berlin gelangte Zitterwelse aus Westafrika' nicht recht hierher passte. Er enthält Manches, was nur dem besonderen Zwecke der Darstellung bei jenem Anlass diente, Anderes, was, auf die ersten Einrichtungen zur Aufnahme der Fische bezüglich, sein Interesse verlor. Dagegen fiel mir auf's Herz, dass dort viel wichtige Versuche nur angedeutet sind, über welche ich, in Anbetracht der seltenen, durch GOODSIR's und BENCE JONES' Güte mir gebotenen Gelegenheit, genauere Auskunft wohl schuldig war. Nach jenem Vortrage machte ich an den Zitterwelsen noch mehrere Beobachtungen, von denen ich einen Theil bisher ganz verschwieg. Die Kargheit meiner Mittheilungen über diese Arbeiten beruht auf meinem Widerwillen, eine nicht nach meinem besten Wissen und Können vollendete Untersuchung zu veröffentlichen. Solche Vollendung war hier aus äusseren Gründen unerreichbar. Es möchte indess noch lange dauern, bis ich wieder in den Besitz von Zitterwelsen gelange, und da die Aufmerksamkeit der Physiologen wieder mehr den elektrischen Fischen sich zuwendet, beschloss ich, bei dieser Gelegenheit das Versäumte nachzuholen, und ausführliche Rechenschaft auch von den Versuchen am Zitterwelse zu geben, welche ich so lange ganz oder fast ganz verborgen hielt. So entstand die an Stelle des akademischen Vortrages und zweier

anderen Mittheilungen über die Zitterwelse gesetzte Abhandlung XXVIII. Da sie neben manchem Neuen das wissenschaftliche Material der fortgelassenen Aufsätze vollständiger giebt, fürchte ich nicht, dass der Werth dieser Sammlung, was er auch sei, unter dem Tausche litt. Für die literarische Uebersicht sorgt die Note am Eingange der neuen Abhandlung.

Berlin, im September 1876.

**Der Verfasser.**

# Inhalt des zweiten Bandes.

## Erste Abtheilung.
## Muskelchemie und -Morphologie.



## Zweite Abtheilung.
## Muskel- und Nervenstrom.

Dritte Abtheilung.
(Archiv für Anatomie u. s. w. 1876. S. 123.)

Ueber die Rolle der parelektronomischen Strecke bei der negativen Schwankung, die beiden Arten der Nachwirkung, und die Entstehung der Parelektronomie. Widerlegung der Hermann'schen Theorie der negativen Schwankung.

## Dritte Abtheilung.

## Elektrische Fische.

## Nachweis zu den Tafeln.

# ERSTE ABTHEILUNG.

---

# MUSKELCHEMIE UND -MORPHOLOGIE.

XVI.

## Ueber angeblich saure Reaction des Muskelfleisches.

(Gelesen in der Gesammtsitzung des Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 31. März 1859.)[1]

Bekanntlich hat zuerst Berzelius selber im Jahr 1807 beobachtet, dass das Muskelfleisch saure Reaction besitze.[2] Für deren Ursache erklärte er den Gehalt des Fleisches an einer freien, nicht flüchtigen, organischen Säure, die er nach allen ihm damals bekannten Merkmalen für einerlei mit der von Scheele aus der sauren Milch dargestellten Säure erkannte. Es ist noch in Aller Gedächtniss und braucht deshalb hier nicht weiter ausgeführt zu werden, zu wie heftigen Kämpfen zwischen ihm und Hrn. v. Liebig volle vierzig Jahre später die von diesem wieder aufgenommene Erörterung über die Natur der Fleischsäure führte. Hr. v. Liebig, der zuerst das Vorkommen der [289] Milchsäure im thierischen Körper läugnete, ward bald darauf, bei Gelegenheit seiner so berühmt gewordenen Untersuchungen über das Fleisch, gleichsam deren zweiter Entdecker in den Muskeln, deren saure Reaction er von saurem milchsaurem und saurem phosphorsaurem Alkali herleitet.[3] Im Verfolg seiner

---

[1] Monatsberichte der Akademie. 1859. S. 288. — Auch abgedruckt in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1860. Bd. VII. S. 1. — Den Inhalt dieser Abhandlung veröffentlichte ich etwas früher in lateinischer Sprache in meiner Habilitationsschrift: De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Berolini. Prostat apud Georgium Reimer. MDCCCLIX. 4⁰. Da ich hier die Literatur des Gegenstandes so vollständig wie möglich mitgetheilt hatte, liess ich sie in der deutschen Bearbeitung fort. Jetzt habe ich sie dem neu abgedruckten deutschen Text hinzugefügt, bis auf die dort im §. XIII gegebene Uebersicht der vor mir beobachteten chemischen Vorgänge bei der Zusammenziehung, zu deren Mittheilung der deutsche Text keine Gelegenheit bot. Auch einige Anmerkungen sachlichen Inhalts, welche im deutschen Original fehlen, sind aus der lateinischen Schrift hier aufgenommen.

[2] Lehrbuch der Chemie u. s. w. übersetzt von F. Wöhler. 4. Aufl. Bd. IX. Dresden und Leipzig. S. 569. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie und Mineralogie u. s. w. 27. Jahrgang (Ueber 1846). Tübingen 1848. S. 586.

[3] Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1847. Bd. LXII. S. 335; —

Untersuchungen haben dann einerseits die Hrn. Engelhardt,[1] Heintz[2] und Strecker[3] die Natur der Fleischmilchsäure genauer studirt und ihre Abweichungen von der gewöhnlichen Milchsäure festgestellt; andererseits die Hrn. Scherer und Wydler[4] auch noch eine Anzahl flüchtiger Säuren aus dem Fleische gewonnen, endlich die Hrn. Lehmann und Siegmund die saure Reaction der von Hrn. v. Liebig nicht berücksichtigten glatten Muskeln beobachtet.[5] In Frankreich vertheidigen neuerdings die Hrn. Valenciennes und Frémy die Meinung, die saure Reaction des Muskelfleisches werde nur in einzelnen Fällen durch Milchsäure, gewöhnlich aber durch saures phosphorsaures Kali ($KO$, $2HO$, $PO_5$) bedingt.[6]

Während so über die Natur der Säure, denen die Muskeln ihre Reaction verdanken, viel und lebhaft gestritten worden ist, hat man stets stillschweigend angenommen, dass die ganze Menge der Säure, die sich aus den Muskeln gewinnen lässt, auch bereits im lebenden Körper darin vorhanden sei. So sehr verstand sich dies, nach der Meinung der Chemiker, von selber, dass sie es, wie es scheint, nicht für nothwendig hielten, sich durch den Versuch am frisch getödteten Thiere davon zu überzeugen, und dass einzelne dem entgegen lautende Stimmen, wie die der Hrn. Enderlin[7] und v. Bibra,[8] ganz unbeachtet blieben. Hr. v. Liebig gründete auf die Gegenwart der freien Milchsäure in den Muskeln, deren Menge er so hoch anschlägt, dass sie unter Umständen alles im Blut enthaltene Alkali zu sättigen vermöge, eine Reihe der kühnsten und weitaussehendsten Folgerungen. Unter anderen suchte er aus der elektrochemischen Wechselwirkung der in den Muskelbündeln enthaltenen sauren und der in den Blut- und Lymphgefässen enthaltenen alkalischen Flüssigkeit durch das Sarkolemm und durch die Haargefässwände hindurch die Entstehung des Muskelstromes zu erklären.[9]

---

Chemische Untersuchung über das Fleisch und seine Zubereitung zum Nahrungsmittel. Heidelberg 1847. S. 79; — Comptes rendus etc. 18 Janvier 1847. t. XXIV. p. 69.

1 Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1848. Bd. LXV. S. 359.

2 Poggendorff's Annalen der Physik u. s. w. 1848. Bd. LXXV. S. 391; — Heintz, Lehrbuch der Zoochemie. Berlin 1853. S. 236.

3 Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1854. Bd. XCI. S. 359; — 1858. Bd. CV. S. 313.

4 Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. Bd. LXIX. S. 196.

5 S. unten.

6 Comptes rendus etc. 5 Novembre 1855. t. XLI. p. 736; — Annales de Chimie et de Physique. 1857. 3me Série. t. L. p. 171.

7 Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1844. Bd. L. S. 64.

8 Roser und Wunderlich, Archiv für physiologische Heilkunde. 1845. S. 566.

9 Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. A. a. O. S. 339; — Chemi-

Unter diesen Umständen glaube ich, dass es für Chemiker sowohl wie für Physiologen von einigem Interesse sein [290] wird, wenn ich zeige, dass die ein halbes Jahrhundert lang von den Chemikern unangefochten behauptete Gegenwart freier Säure in den lebenden Muskeln für gewöhnlich nicht zu erweisen ist; dass zweifellos der bei weitem grösste Theil der Säure, welche die Chemiker im angeblich frischen Fleisch erkannt haben, erst zur Zeit der beginnenden Fäulniss darin frei wird; endlich dass nur in dem Falle, wo dauernde heftige Muskelanstrengung vorhergegangen ist, der noch leistungsfähige Muskel saure Reaction besitzt.

Der Weg, auf dem ich zu dieser Kenntniss gelangte, ist folgender. Nachdem ich im Sommer 1842 das Gesetz des Muskelstromes entdeckt hatte, bestand natürlich einer der ersten Versuche, die ich anstellte, darin, dass ich untersuchte, ob nicht vielleicht der Längsschnitt und der künstliche Querschnitt des Muskels verschiedene Reaction darböten. Die Angaben der Chemiker über die saure Beschaffenheit des Fleischsaftes waren mir wohl bekannt; ja ich hatte selber Gelegenheit gehabt, mich davon zu überzeugen bei einem von Hrn. Brücke im Laboratorium des Hrn. Mitscherlich angestellten Versuch, der zum Zweck hatte, zum Erweis der von Hrn. Brücke ersonnenen Theorie der Todtenstarre eine freiwillig gerinnbare Flüssigkeit aus den Muskeln auszupressen. Einem Kaninchen wurde blutwarmes destillirtes Wasser so lange in die Bauchaorta gespritzt, bis es farblos aus der unteren Hohlvene wieder abfloss, und die blutleeren Beinmuskeln wurden so warm und zuckend wie möglich unter die Presse gebracht. Die stark röthlich gefärbte Flüssigkeit, welche dergestalt erhalten wurde, setzte freiwillig kein Gerinnsel ab, enthielt aber eine grosse Menge Eiweiss und reagirte stark sauer.[1] Jetzt erwartete ich also, den künstlichen Querschnitt des Muskels sauer reagirend zu finden, woraus, im Verein mit der bekannten alkalischen Reaction der den natürlichen Längsschnitt benetzenden Lymphe oder allgemeinen thierischen Feuchtigkeit, eine elektromotorische Wirkung nach dem Gesetze des Muskelstromes sich allenfalls würde haben ableiten lassen. Allein zu meinem nicht geringen Erstaunen zeigte der künstliche Querschnitt bei wiederholter Prüfung mittels Lakmuspapiers keine deutliche saure Reaction; und da ich damals andere Fragen in Fülle zu beantworten hatte, und andere Gründe [291] genug mir zur Hand waren, aus denen hervorging, dass ein blosser elektrochemischer Gegensatz von Längs- und

---

sche Untersuchung über das Fleisch u. s. w. S. 83; — Comptes rendus etc. 18 Janvier 1847. t. XXIV. p. 70.

[1] Vergl. meine Untersuchungen. Bd. II. Abth. I. S. 158. Anm. — Heintz, Lehrbuch der Zoochemie. Berlin 1853. S. 637.

Querschnitt nicht der Ursprung des Muskelstromes sein könne, so liess ich die Sache auf sich beruhen, indem ich mich bei der Vorstellung beruhigte, die aus den querdurchschnittenen Blut- und Lymphgefässen fliessende alkalische Flüssigkeit habe die Säure des Muskelquerschnittes gesättigt.

Ich wurde erst wieder auf diesen Punkt zurückgeführt, als ich, acht Jahre später, mich mit dem von mir sogenannten parelektronomischen Zustande der Muskeln beschäftigte. Ich habe damals dargethan, dass am natürlichen Querschnitt der Muskeln eine Schicht vorhanden ist, deren elektromotorische Kräfte denen des übrigen Muskels entgegenwirken. Diese Schicht heisst die parelektronomische Schicht. Je nach der verschiedenen Stufe ihrer Ausbildung ist der Muskel mit natürlichem Querschnitt schwach positiv wirksam, d. h. der Strom geht im Multiplicatorkreise vom Längsschnitt zum Querschnitt, oder der Muskel ist unwirksam, oder endlich gar er ist negativ wirksam. Sobald aber die elektromotorischen Kräfte der parelektronomischen Schicht auf irgend eine Art ausser Spiel gebracht werden, sei's dass man die Schicht mechanisch entfernt, d. h. den künstlichen Querschnitt herstellt, sei's dass man sie nur ihrer elektromotorischen Wirksamkeit auf chemischem oder kaustischem Wege beraubt: wird der Muskel im gehörigen Maasse positiv wirksam, der Muskelstrom tritt in der gewohnten Art hervor. Um eine Veränderung des Stromes zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitt, gleichviel wie er gerade beschaffen sei, in positivem Sinn hervorzurufen, genügt es also, den natürlichen Querschnitt des Muskels mit einer Flüssigkeit zu benetzen, welche die Muskelsubstanz chemisch angreift, gleichviel ob die Flüssigkeit leite oder nicht, und gleichviel welche sonst ihre chemische Beschaffenheit sei. Die Veränderung des Stromes im positiven Sinne, wie sie im ersten Augenblick sich kund giebt, ist um so grösser, je stärker die Flüssigkeit die Muskelsubstanz angreift, und je rascher sie in sie eindringt. Aber auch die scheinbar am wenigsten differenten und der Diffusion fähigen Flüssigkeiten sind solcher Wirkung fähig. Man kann sich also der positiven Veränderung des Stromes beim Benetzen des Querschnittes mit einer gegebenen Flüssigkeit [292] gleichsam als eines neuen Reagens bedienen, um zu erfahren, ob die Muskelsubstanz davon angegriffen werde oder nicht. Ja ich bezweifle, dass es für Angreifbarkeit der Muskelsubstanz durch eine gegebene Flüssigkeit ein empfindlicheres Merkmal gebe als das hier bezeichnete. Ueberflüssig ist wohl zu erwähnen, dass am Multiplicator die positive Veränderung dann am leichtesten wahrnehmbar ist, wenn der Muskel, wegen der parelektronomischen Schicht, nahe stromlos verharrt. Diese Bedingung findet sich meist an den Muskeln solcher Frösche erfüllt, die mindestens 24 Stunden auf 0° erkältet wurden.

Mit Hülfe dieses Prüfungsmittels fand ich bei einer Gelegenheit, die hier nichts zur Sache thut, dass der künstliche Querschnitt eines Froschmuskels bei fortgesetzter Berührung die Substanz eines anderen Froschmuskels chemisch angriff. Die natürlichen Flächen des Muskels wie auch der durch Zerreissen des Muskels in der Richtung seiner Fasern dargestellte künstliche Längsschnitt thaten es nicht. Ich sah mich also zu dem Schlusse getrieben, dass entweder in den Muskelbündeln eine Flüssigkeit enthalten sei, die den Inhalt der Muskelbündel angreife, was widersinnig ist, oder, dass sich am künstlichen Querschnitt im Laufe der Zeit eine solche Flüssigkeit bilde. Es gelang sofort, letztere Ansicht durch den Versuch zu bestätigen. Dazu war nur nöthig, die ätzende Wirksamkeit eines frischen und eines schon seit einiger Zeit hergestellten Querschnittes miteinander zu vergleichen. Der ältere Querschnitt zeigte sich viel stärker ätzend als der frische. Die Bildung einer ätzenden Flüssigkeit am künstlichen Querschnitt war somit erwiesen, und von hier aus ward es mir nicht schwer, den wahren Zusammenhang der Dinge und den Grund des Widerspruchs zu durchschauen, der so lange für mich zwischen jenen früheren Versuchen, in denen frische Froschmuskelquerschnitte mir neutrale Reaction gaben, und der Lehre der Chemiker von der sauren Natur der Fleischflüssigkeit, geherrscht hatte.

Ich überlegte mir, dass die Chemiker unter frischem Fleische gewöhnlich wohl nur solches verstehen, welches noch gut zu essen ist. Dies ist aber nicht frisches Fleisch im Sinne der Physiologen. Die Physiologen nennen frisches Fleisch solches, welches nach dem Tode, oder nach der Trennung vom lebenden [293] Thiere noch im Besitze seiner Lebenseigenschaften verharrt, d. h. welches noch zuckungsfähig ist, und elektromotorisch wirkt nach dem von mir aufgestellten Gesetze. Man könnte diesen Zustand der Muskeln nach dem Vorbilde eines von Hrn. Flourens gebrauchten Ausdrucks der französischen Rechtspraxis den des Ueberlebens (*l'état de survie*) nennen. Nur Fische und Frösche, und in einigen Gegenden Dentschlands die Hühner tragen ihre Muskeln im Zustande des Ueberlebens in den Kochtopf, Krebse bekanntlich sogar im Zustande des Lebens selber. Das Fleisch anderer Thiere muss, um für uns geniessbar zu sein, erst eine Reihe von Veränderungen durchlaufen haben, die sich nach dem Tode freiwillig daran einstellen. Es muss aus dem Zustande des Ueberlebens in den der Todtenstarre übergegangen sein, wo es nicht mehr zuckungsfähig ist und seine elektromotorische Wirksamkeit eingebüsst hat. Aus dem Zustande der Todtenstarre muss es sodann, durch deren Lösung, in den der beginnenden Fäulniss übergetreten sein. Wir essen für gewöhnlich Fleisch im Zustande der gelösten Todtenstarre, der beginnenden Fäulniss. In der Küche heisst dies

Fleisch noch frisches Fleisch. Beim Wilde lassen wir die Fäulniss sogar merklich werden. Nur Völkerschaften im Urzustande, wie die Hellenen Homer's oder die Nordamerikanischen Hinterwäldler essen Fleisch im Zustande des Ueberlebens, frisches Fleisch im Sinne der Physiologen, in welchem ich fortan dies Beiwort ausschliesslich brauchen werde. Der Grund unserer Sitte ist bekanntlich, dass Fleisch im Zustande des Ueberlebens bei der Zubereitung zähe bleibt. Es scheint also, dass die Zähigkeit des Bindegewebes, welches bei vielen Arten der Zubereitung nicht Zeit hat sich in Leim zu verwandeln, vielleicht auch die des Sarkolemms, durch die beginnende Fäulniss vermindert wird. Eine muthmassliche Erklärung dafür wird sich aus den folgenden Untersuchungen ergeben.

Durch meine thierisch-elektrischen Versuche wusste ich, was ohnehin vom physiologischen Standpunkt aus zu erwarten war, dass eine dünne Schicht des Muskels am künstlichen Querschnitt binnen kurzer Zeit abstirbt. So kam ich unvermeidlich auf den Gedanken, dass erst beim Absterben des Muskels, gleichviel ob es schnell oder langsam geschehe, die Säure in ihm frei werde. [294] Diese Vermuthung war offenbar geeignet, den oben bezeichneten Widerspruch zu versöhnen. Denn Hrn. v. Liebig's feingehacktes Fleisch frischgetödteter Thiere war eben kein frisches Fleisch mehr im oben bestimmten Sinne. Gehacktes Fleisch sogar von Fröschen ist stets bereits todtenstarr. Auch die stärksten elektrischen Schläge bringen in dem Häcksel keine Spur von Bewegung mehr hervor. Bei jenem Versuch des Hrn. Brücke kamen die Kaninchenmuskeln zwar noch warm und zuckend unter die Presse. Allein sie wurden nach dem Auspressen todtenstarr vorgefunden, und aus demselben Grunde, aus dem die Abwesenheit eines freiwillig entstandenen Gerinnsels in der ausgepressten Flüssigkeit nichts gegen Hrn. Brücke's Theorie der Todtenstarre bewies, bewies auch die saure Reaction dieser Flüssigkeit nichts für die Gegenwart der Säure in den noch lebenden Muskeln.

Um meine Muthmassung zur Gewissheit zu erheben, war nur nöthig, einen älteren, bereits ätzend gewordenen Querschnitt auf seine Reaction zu prüfen. Sie ergab sich als lebhaft sauer; und so ward ich dazu geführt, der Aufklärung dieses Gegenstandes weitere Bemühungen zu widmen.

Die folgenden Versuche sind sämmtlich mit auf gewöhnliche Art bereitetem, im Dunkeln über Kalihydrat aufbewahrtem Lakmuspapier angestellt, und zwar mit verschiedenen Proben, die ich theils der Güte befreundeter Chemiker verdankte, theils selber dargestellt, theils gekauft hatte. Als die beste Vorkehrung, um die Reaction der Muskeln zu

untersuchen, ist mir folgende erschienen. Auf einem gefirnissten Brettchen aus Lindenholz wird eine Anzahl rother und blauer Lakmuspapierstreife der Länge nach nebeneinander in bunter Reihe mit Hülfe von Stechknöpfen so ausgespannt, dass je ein Streif den folgenden mit dem Rande dachziegelförmig deckt. Die Fläche, deren Reaction geprüft werden soll, presst man gegen die Grenze zweier Streife, so dass sie zur Hälfte einem rothen, zur Hälfte einem blauen Streif anliegt. So hat man nicht allein den Vortheil, dass man in Einem Versuche zwei Erfolge zugleich beobachtet; es wird auch das Urtheil über die Natur und den Grad einer z. B. auf blauem Grunde erzeugten Verfärbung durch den gegenwärtigen Eindruck des benachbarten Roth wesentlich unterstützt.[1]

[295] Es ist zweckmässig, sich bei der Untersuchung zunächst auf Froschmuskeln zu beschränken, weil der langsame und durch die Temperatur leicht zu beherrschende Verlauf der Erscheinungen hier mancherlei zu beobachten gestattet, was an Muskeln warmblütiger Thiere sich der Wahrnehmung entzieht.

Zuerst prüfte ich von Neuem mit aller Sorgfalt die Reaction der natürlichen, die Muskeln begrenzenden Flächen. Dabei kommt der Unterschied zwischen natürlichem Längs- und Querschnitt, der in der Lehre vom Muskelstrom eine Rolle spielt, natürlich nicht in Betracht. Dagegen kann ein Unterschied gemacht werden zwischen der Fläche des Muskels, die in den Lymphräumen frei zu Tage liegt, und selbstverständlich mit der Lymphe und der inneren Hautfläche einerlei Reaction besitzt, und den Flächen, mit denen die Muskeln einander berühren, und die man durch künstliche Trennung der Muskeln entblössen muss. Letzteres geschieht am besten, indem man den grossen Unterschenkelstrecker vom Knie her aufhebt. Die Reaction beider Arten von Flächen ist ganz dieselbe, und, wie gesagt, einerlei mit der Reaction der Lymphe und der inneren Hautfläche, nämlich eine leicht alkalische, der Art, dass rothes Lakmuspapier erst nach längerem Verweilen in Berührung damit deutlich gebläut wird.

Ganz ebenso verhält sich der künstliche Längsschnitt der Muskeln, den ich auf die in meinen Untersuchungen beschriebene Art herstellte.

Trocknet man die Muskeln, ehe man sie mit dem Lakmuspapier in Berührung bringt, ab, indem man sie zwischen Fliesspapier knetet, so

---

[1] [An Stelle des Lakmuspapiers für Versuche dieser Art hat seitdem Hr. Liebreich mit Lakmus gefärbte Thon- oder Gypsblättchen empfohlen (Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. 1868. S. 48). Hr. Heidenhain lässt einen wässrigen Auszug des Muskels auf Lakmuslösung wirken (Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit u. s. w. Leipzig 1864. S. 152 ff.)]

erhält man, wegen der Trockenheit der Oberfläche, gar keine Einwirkung mehr auf das Pigment.

Schneidet man einen dergestalt abgetrockneten Muskel mittels einer gleichfalls sorgfältig abgewischten Scheere quer durch und presst die frischen Querschnitte der beiden Hälften auf blaues und auf rothes Lakmuspapier, so ereignet sich Folgendes. Auf dem rothen Papier entsteht sofort ein bläulicher Fleck, der sich bei längerem Verweilen des Querschnittes auf dem Papier entschieden blau ausnimmt. Auf dem blauen Papier entsteht meist erst etwas später ein ebenso entschiedener rother Fleck. Vergleicht man aber den scheinbar blauen Fleck auf rothem [296] Grunde mit dem scheinbar rothen auf blauem Grunde, so dass Fleck an Fleck stösst, was eben am leichtesten so geschieht, dass man den Muskelquerschnitt in der oben angegebenen Art halb auf einen rothen und halb auf einen blauen Streif aufsetzt, so zeigt sich, dass beide Flecke genau genommen von einerlei Farbe, nämlich violett sind, und dass der Anschein ihrer verschiedenen Farbe auf nichts beruhte, als auf dem Gegensatze des Grundes, auf dem man sie erblickt. Der Umstand, dass der frische Muskelquerschnitt auf blauem Papier scheinbar eine deutliche rothe Spur hinterlässt, mag manchen getäuscht haben, der, um sich von der angeblich sauren Reaction der frischen Muskeln zu überzeugen, die Prüfung nur auf diese Art vorgenommen hat, ohne zu ahnen, dass er auf rothem Papier einen scheinbar ebenso entschieden blauen Fleck erhalten haben würde.

Um diese Art der Einwirkung des Muskelquerschnittes auf das Pigment zu erklären, könnte man ihn sich zuerst vorstellen gleichsam als eine Mosaik aus dem sauren Inhalt der Primitivbündel einerseits, andererseits dem alkalischen Sarkolemm, Bindegewebe, Perimysium, den Blut- und Lymphgefässen. Auf rothem Grunde müssten die zuletzt aufgezählten Gewebe blaue, auf blauem Grunde der saure Inhalt der Primitivbündel rothe Spuren hinterlassen, und so in beiden Fällen der Anschein eines violetten Fleckes entstehen.

Abgesehen davon, dass alsdann doch wohl der scheinbar rothe Fleck auf blauem Grunde deutlicher ausgeprägt sein müsste, während eher das Gegentheil zutrifft, zeigt die Lupe nichts von einer solchen Buntscheckigkeit des Muskelabdrucks; und es bedarf auch überhaupt dieser künstlichen Annahme nicht. Es ist in neuerer Zeit mehrmals beobachtet worden, dass (physikalisch) in sich gleichartige Flüssigkeiten, wie z. B. Harn, dergestalt auf das blaue und auf das rothe Lakmuspigment wirken, dass sie jenes röthen, dieses bläuen.[1] Man muss wohl in diesen Fällen die

[1] Vergl. Kühne in Virchow's Archiv für pathologische Anatomie u. s. w. Bd. XIV. 1858. S. 328. 344. 345. 347. — [Hr. Heidenhain hat seitdem diese Art der Reaction von der neutralen als amphichromatische unterschieden (Mecha-

Reaction als neutral auffassen, obschon sie sich freilich anders darstellt als die neutrale Reaction z. B. destillirten Wassers oder einer Lösung eines nach Aussage des Lakmuspapieres neutralen Salzes, welche keines von beiden Pigmenten verändern sollen. In wie weit hier wirklich etwas Besonderes vorliege, oder nur ein gradweiser Unterschied stattfinde von jenen [297] leichten Verfärbungen, welche man auch mit Wasser, Alkohol, Neutralsalzlösungen zu beobachten Gelegenheit hat; ferner wie diese Art neutraler Reaction in Einklang zu bringen sei mit der gangbaren Theorie der Reaction auf das Lakmuspigment: dies zu beurtheilen überlassen wir den Chemikern. Da sich aber, wie die Folge lehren wird, aus den frischen Muskeln auf verschiedenem Wege eine mit jener Art neutraler Reaction behaftete Flüssigkeit gewinnen lässt, ja da es mir einigemal begegnet ist, dass eine solche Flüssigkeit ohne weitere Bemühung in geringer Menge aus dem frischen Querschnitt sickerte, so braucht man wohl für die gleiche Reaction des Querschnittes nach einem anderen Grunde, als nach der Gegenwart einer solchen Flüssigkeit in den Primitivbündeln, nicht mehr zu suchen, und wir dürfen demgemäss den Inhalt der frischen Primitivbündel fortan wohl als von neutraler Beschaffenheit bezeichnen.

Violettes Lakmuspapier wird denn auch in geeigneter Nuance durch den frischen Muskelquerschnitt gar nicht verändert. Uebrigens ist nicht zu verkennen, dass, wenigstens an den Winterfröschen, mit denen ich zuletzt diese Prüfungen angestellt habe, die Reaction des frischen Muskelquerschnittes sich mehr zum Alkalischen hinneigt, so dass die röthliche Färbung auf blauem Grunde nicht nur zu erscheinen zögert, sondern ganz ausbleibt, oder doch nicht von Dauer ist.

Wie dem auch sei, lässt man einen querdurchschnittenen Muskel vor dem Austrocknen geschützt bei mittlerer Temperatur liegen, und untersucht nach einiger Zeit die Reaction des Querschnittes von Neuem, so findet man sie, wie schon gesagt, lebhaft sauer. Ein in einiger Entfernung von dem ersten angelegter Querschnitt verhält sich aber noch neutral, wie der erste unmittelbar nach seiner Herstellung. Nach Ablauf einer neuen Frist erscheint auch dieser sauer; es kann aber gelingen, noch einen dritten Querschnitt neutral zu finden, u. s. f.

---

nische Leistung u. s. w. S. 153). — Sie wird neuerlich die amphotere Reaction genannt. Vergl. Heintz, Ueber die Ursache der Coagulation des Milchcaseïn durch Lab und über die sogenannte amphotere Reaction. Journal für praktische Chemie 1872. Bd. VII. S. 374. — Mein Freund Heintz war es, der mich im Beginn meiner Versuche über die Reaction der Muskeln darauf aufmerksam machte, dass bei der amphoteren Reaction vermuthlich nicht der blaue Farbstoff roth, der rothe blau, sondern beide Farbstoffe gleichmässig violett würden, was der Versuch bestätigte.]

Wenn endlich der Muskel seine Leistungsfähigkeit eingebüsst hat und todtenstarr geworden ist, dann erst reagirt er auf jedem Querschnitt sofort sauer. Noch aber verhält sich der künstliche Längsschnitt alkalisch. Aber mit der Zeit wird das Alkali der übrigen Gewebe im Muskel durch die im Inneren der Bündel gebildete Säure übersättigt, und der Muskel [298] reagirt durch und durch sauer: er überfliesst von Säure, denn die Flüssigkeit, welche jetzt aus dem Querschnitt sickert, färbt das blaue Lakmuspapier fast zwiebelroth. Nun geht der Muskel rasch den weiteren Stadien der Fäulniss entgegen, welche es schliesslich mit sich bringt, dass der Querschnitt wieder von kohlensaurem Ammoniak alkalisch reagirt, ganz wie man ursprünglich normal sauren Harn durch die Fäulniss alkalisch werden sieht.

Die rothen Flecke, welche die todtenstarren Muskeln auf blauem Lakmuspapier machen, bleiben auch nach dem Trocknen sichtbar. Daraus dürfte zu schliessen sein, dass dieselben nicht allein, wie die Hrn. Valenciennes und Frémy wollen, von saurem phosphorsaurem Kali herrühren. Denn, wie Hr. Mitscherlich bereits vor vielen Jahren gezeigt hat, die vom sauren phosphor- und arsensauren Kali auf blauem Lakmuspapier gemachten rothen Flecke verschwinden beim Trocknen, weil das Salz beim Krystallisiren die Säure wieder aufnimmt, welche das Lakmuspapier röthete.[1]

Ueber die Zeit, welche verfliessen muss, damit diese verschiedenen Zustände des absterbenden Muskels sich bemerklich machen, lässt sich nichts Bestimmtes sagen, weil der Verlauf der Erscheinungen von allen den zahlreichen Umständen abhängt, welche die Dauer der Muskelerregbarkeit nach dem Tode überhaupt bedingen. Einzelne ausgeschnittene Froschmuskeln bei einer Temperatur von etwa 0° aufbewahrt können sich noch am zehnten Tage lebhaft zusammenziehen, und demgemäss eine völlig neutrale Reaction besitzen.[2] Bei mittlerer Temperatur dagegen

---

[1] Annales de Chimie et de Physique. Avril 1822. t. XIX. p. 363; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1834. Bd. XXXI. S. 319. Anm.

[2] Die Muskeln, von denen hier die Rede ist, sind der Gastroknemius und der (innerste Kopf des) Triceps femoris Cuv. Der Adductor magnus [Gracilis] und der Semimembranosus, obschon von gleicher Masse mit Gastroknemius und Triceps, sterben unter denselben Umständen schon nach ein bis zwei Tagen. Dies ist sichtlich die Erklärung der von J. W. Ritter aufgestellten Lehre, dass die Beuger schneller als die Strecker unerregbar werden. (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 326.) Die Ursache jenes Unterschiedes weiss ich nicht anzugeben. Adductor magnus und Semimembranosus sind schwerer unverletzt darzustellen, als Gastroknemius und Triceps. Aber auch Gastroknemien und Tricipites, welche absichtlich viel schwerer verletzt wurden als Adductor magnus und Semimembranosus es beim Präpariren je zufällig

versagen sie meist schon am dritten Tage jede Spur von Zuckung, und werden bald darauf starr und sauer angetroffen. Verletzte Muskeln werden viel früher durch und durch sauer als unversehrte, u. s. f.

Aus diesen Versuchen folgt also bereits mit Bestimmtheit zweierlei. Erstens, dass in den Muskeln um die Zeit des Erstarrens Säure in ansehnlicher Menge frei wird, und zweitens, da wir den künstlichen Längsschnitt noch alkalisch fanden als schon der künstliche Querschnitt sauer reagirte, dass das Innere der Primitivbündel der Sitz dieser Säurebildung ist.

Hingegen könnte man noch zweifeln, ob wirklich im Inneren der frischen Muskelbündel noch gar keine freie Säure vor- [299] handen sei, indem die Möglichkeit da sei, dass die Säure durch die alkalischen aus den Blut- und Lymphgefässen stammenden Flüssigkeiten hätte verdeckt werden können. Um hierüber in's Klare zu kommen, war es nöthig, die obigen Versuche mit Muskeln zu wiederholen, aus deren Gefässen das Blut durch eine neutrale Flüssigkeit war vertrieben worden. Ich wählte als solche eine verdünnte Rohrzuckerlösung ($^1/_{40}$ dem Gewichte nach) in destillirtem Wasser,[1] und entleerte, je nach der Grösse des Frosches, eine damit gefüllte Spritze von 47 $^{ccm}$ Inhalt zwei bis dreimal durch dessen Gefässsystem. Die Muskeln zuckten nicht beim Ausspritzen mit dieser Flüssigkeit, wie sie es bei Anwendung von destillirtem Wasser zu thun pflegen, und sie blieben fast eben so lange erregbar wie Muskeln mit ihrem normalen Blutgehalt. Einen klar ausgesprochenen Unterschied zwischen der Reaction des Querschnittes mit Blut und mit Zuckerwasser erfüllter Muskeln konnte ich nicht wahrnehmen, obschon die Spur eines solchen, welche allenfalls vorhanden war, allerdings für eine etwas geringere Alkalescenz des Querschnittes sprach. Dieses Ergebniss entspricht somit vollständig dem, zu welchem Hr. Kühne im vorigen Sommer in meinem Laboratorium gelangte, als er Hrn. Brücke's oben S. 5 beschriebenen Versuch mit Frosch- statt mit Kaninchenmuskeln und mit

---

werden, leben unter gleichen Umständen länger als letztere Muskeln im völlig unversehrten Zustande. Ein anatomischer Unterschied der beiden Arten von Muskeln ist vorhanden: Gastroknemius und Triceps bestehen aus vielen kurzen, Adductor magnus und Semimembranosus aus wenigen langen Bündeln. Diesem Unterschied muss ein Unterschied in der Anordnung der Nerven entsprechen. Vielleicht dass hierauf jene auffallende Erscheinung beruht. [S. unten Abh. XXII. §. V. XXIV. §. X. die Erklärung der Erscheinung.]

[1] Da nämlich Joh. Müller gezeigt hat, dass solche Zuckerlösung die rothen Blutkörperchen nicht verändert. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1832. Bd. XXV. S. 521. 530. 532. 540; — Handbuch der Physiologie des Menschen u. s. w. Bd. I. 4. Aufl. Coblenz 1844. S. 104.

Zuckerwasser statt mit destillirtem Wasser wiederholte. Er erhielt durch Auspressen des blutleeren Froschfleisches eine Flüssigkeit, welche, wie die Querschnitte der Muskeln selber, wahrscheinlich neutral reagirte, da sie rothes Lakmuspapier schwach blau, und das blaue Papier röthlich färbte.[1]

Ausser mit der Zuckerlösung habe ich ähnliche Versuche auch noch mit destillirtem Wasser angestellt. Die Erscheinungen beim Einspritzen von destillirtem Wasser in die Muskeln sind durch Joh. Müller's,[2] Ed. Weber's,[3] G. v. Liebig's[4] und v. Wittich's[5] Beobachtungen bekannt. Die Muskeln schwellen unter Zuckungen auf, werden ganz weiss, ihre Leistungsfähigkeit ist sehr vermindert, und hat, wenn die eingespritzte Wassermasse gross war, bald ein Ende. Indessen auch der Quer- [300] schnitt solcher Muskeln reagirt neutral; höchstens kann man sagen, dass nach sehr reichlicher Wassereinspritzung die Reaction sich etwas mehr zum Säuerlichen neigt.

Allein dergleichen Muskeln zeigen noch eine andere auffallende Erscheinung, deren jene Beobachter nicht gedacht haben. Bewahrt man nämlich nach Hindurchspritzen von etwa 200—300 ccm destillirten Wassers die hintere Hälfte eines Frosches in der Kälte auf, so lassen die Beinmuskeln allmählich einen ansehnlichen, wenn nicht den grössten Theil des aufgenommenen Wassers in Gestalt einer trüben Flüssigkeit wieder fahren, von der man leicht innerhalb der ersten 24 Stunden 2·5, innerhalb der folgenden entsprechenden Zeitabschnitte über 1 ccm, im Ganzen bis 6 ccm auffangen kann. Anfangs reagirt diese Flüssigkeit, ganz wie der frische Muskelquerschnitt, auf beide Lakmuspapiere. Sterben die Muskeln ab, so findet man die fortan ausgestossene Flüssigkeit sauer; gehen sie in Fäulniss über, so ändert sich die Reaction in die alkalische um. Zu jeder Zeit enthält die Flüssigkeit eine grosse Menge Muskeleiweiss. Freiwillige Bildung eines Gerinnsels habe ich darin nicht beobachtet. Die aus den faulenden Muskeln stammende alkalische Flüssigkeit sieht gelblich aus und wimmelt von Vibrionen. Ob die Muskeln die Flüssigkeit auch durch ihre unversehrte Oberfläche, oder nur durch die durchschnittenen Gefässe ausstossen, habe ich noch nicht durch den Versuch entschieden.

---

1 Allgemeine medicinische Central-Zeitung. Berlin, den 1. September 1858.

2 Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. II. I. Abth. Coblenz 1837. S. 49.

3 Artikel: 'Muskelbewegung' in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. Abth. II. Braunschweig 1846. S. 10.

4 Archiv für Anatomie u. s. w. 1850. S. 410. 411.

5 Experimenta quaedam ad Halleri Doctrinam de Irritabilitate probandam instituta. Regiomonti P. 1857. 4°. p. 6 sqq.

So haben wir nunmehr drei Arten kennen gelernt, wie aus den Muskeln eine mit der Reaction des frischen Muskelquerschnittes behaftete Flüssigkeit zu gewinnen sei. Eine solche Flüssigkeit sickert gelegentlich von selber aus dem frischen Querschnitt, man kann sie durch Auspressen mit Zuckerwasser ausgespritzter Muskeln darstellen, wie Hr. Kühne that, endlich die mit destillirtem Wasser strotzend angefüllten Muskeln geben sie in reichlichem Maasse freiwillig von sich.

Jetzt wird dem Schlusse, dass nicht nur, wie schon vorher bewiesen wurde, der bei weitem grösste Theil der in den abgestorbenen Muskeln enthaltenen Säure erst beim Erstarren in den Muskeln frei geworden ist, sondern dass überhaupt in den frischen Muskeln gar keine durch die Reaction auf Lakmus nachweisbare freie Säure vorhanden ist, — diesem Schlusse [301] wird wohl nichts Erhebliches mehr entgegenstehen. Da auch Muskeln, welche statt Blut Zuckerwasser oder destillirtes Wasser in ihren Gefässen enthalten, auf dem Querschnitt neutral reagiren, so kann nicht mehr gesagt werden, dass das Alkali des Blutes die freie Säure des Muskelbündel-Inhaltes sättige; und da auf mehrfachem Wege das Dasein einer auf beide Lakmuspapiere reagirenden Flüssigkeit im Muskel dargethan ist, so kann auch nicht mehr füglich daran gedacht werden, zur Erklärung der gleichen Reaction des Querschnittes des ausgespritzten Muskels an der schon an sich so bedenklichen Hypothese festhalten zu wollen, wonach der violette Fleck auf beiden Papieren aus blauen und rothen Flecken nach Art einer Mosaik sollte zusammengesetzt sein. Es kann vielmehr keine Frage mehr sein, dass die ganze in den abgestorbenen Muskeln von den Chemikern erkannte Säuremenge erst zur Zeit des Erstarrens innerhalb der Primitivmuskelbündel frei wird.

Daraus, dass man die Schnittfläche eines querdurchschnittenen Muskels schon sauer findet zu einer Zeit, wo der übrige Muskel sich noch neutral verhält, könnte man zu schliessen geneigt sein, die Säurebildung beruhe auf einer Oxydation, zu der sich an der Schnittfläche wegen der freigegebenen Berührung mit dem Sauerstoff der Luft vorzugsweise Gelegenheit finde. Der Versuch spricht aber gegen diese Auffassung, denn man beobachtet ganz den nämlichen Verlauf der Erscheinungen, wenn man die Muskeln unter Quecksilber durchschneidet, so dass deren Querschnitt erst im Augenblick der Untersuchung in Berührung mit der Luft kommt, oder wenn man sie in der Guericke'schen Leere mit hinreichend viel Wasser aufhebt, um sie vor dem Austrocknen zu schützen. Unverletzte Muskeln werden unter Quecksilber, unter Olivenöl, im luftleeren Raume ganz ebenso, nur vermuthlich, nämlich wegen beeinträchtigter Athmung, etwas früher sauer als an der freien Luft. Handelt es

sich also bei der Säurung der Muskeln zur Zeit des Erstarrens um einen Oxydations- und nicht bloss um einen Spaltungsprocess oder sonstigen Wandel der Materie, so geschieht jedenfalls die Oxydation nicht auf Kosten des Sauerstoffes der atmosphärischen Luft. Die frühzeitige Säurung des in einem [302] Querschnitt blossgelegten Muskelinneren ist auf Rechnung des durch die Verletzung, wir wissen freilich noch nicht wie, bedingten raschen Absterbens der davon zunächst betroffenen Theile des Muskels zu schieben.

Es stellt sich nun begreiflicherweise der Wunsch ein, zwischen den beiden Erscheinungen der Erstarrung und der Säurung des absterbenden Muskels einen ferneren Zusammenhang aufzufinden. Nach den von Hrn. Kühne im vorigen Sommer in meinem Laboratorium angestellten Versuchen kann man die Richtigkeit der Brücke'schen Hypothese über die Entstehung der Todtenstarre nunmehr als ausgemacht ansehen. In der oben erwähnten Flüssigkeit nämlich, welche Hr. Kühne aus den mit Zuckerwasser ausgespritzten Muskeln presste, und welche mit dem frischen Muskelquerschnitt gleiche Reaction besass, bildete sich zur Zeit, wo ausgespritzte und abgeschnittene Muskelstücke bei der herrschenden Temperatur zu erstarren pflegten, nämlich nach etwa vier Stunden, ein flockiges Gerinnsel. Zusatz von Wasser beschleunigte die Gerinnung, gerade wie ein in Wasser befindlicher Muskel nach kürzerer Zeit erstarrt. Nach Bildung des Gerinnsels fing die Masse an, gleich einem todtenstarren Muskel, sauer zu reagiren. Die ausgepressten Muskeln hingegen wurden nicht mehr ordentlich todtenstarr. Wenn auch diese Versuche erst als vorläufige zu betrachten sind, wird man sich fortan doch schwerlich weigern können, zuzugeben, dass die Todtenstarre durch die nach dem Tode eintretende freiwillige Gerinnung einer in den Muskeln ausserhalb der Gefässe enthaltenen eiweissartigen Substanz zu erklären sei, die einstweilen Muskelfaserstoff heissen mag, ohne dass damit ihre Einerleiheit mit dem Muskelfibrin Liebig's, dem Syntonin Lehmann's behauptet werden soll; und zwischen diesem Vorgange und der, wie man so eben gesehen hat, auch noch ausserhalb der Muskeln gleichzeitig damit eintretenden Säurung des Muskelsaftes, würde es also nunmehr unsere Aufgabe sein, eine ursächliche Verknüpfung aufzusuchen.

Dazu wird es zunächst dienlich sein, die Reihefolge in's Auge zu fassen, in der die Erscheinungen auftreten. Es ist bereits oben festgestellt worden, dass der Muskel, so lange er zuckungsfähig ist, und noch eine geraume Zeit darüber hinaus, [303] neutral reagirt. Da der Anfang der Todtenstarre durch kein entscheidendes Merkmal bezeichnet ist, so lässt sich nicht mit gleicher Bestimmtheit behaupten, dass die Säurung sich immer erst nach vollendeter Erstarrung bemerklich macht. Doch

halte ich dies für den wahren Sachverhalt. Die Gerinnung des Muskelfaserstoffes würde gleichsam schon dadurch als das ursprüngliche, die Säurung des Muskels als das secundäre Phänomen gekennzeichnet sein.

Demnächst schien mir das Wichtigste, was hier zu thun war, die Entscheidung der Frage, ob die Säurung des Muskels stets und unter allen Umständen die Folge der Gerinnung des Muskelfaserstoffes sei, oder ob beide Vorgänge auch von einander getrennt vorkommen können. Zu diesem Zweck untersuchte ich also jetzt Muskeln, die unter verschiedenen Umständen ihre Leistungsfähigkeit eingebüsst hatten und todtenstarr geworden waren, nach der oben beschriebenen Methode auf die Reaction ihres künstlichen Querschnittes.

In Wasser[1] von mittlerer Temperatur ($15^0$) werden die Muskeln bekanntlich sehr bald (binnen einer Stunde) todtenstarr, und dabei, wie ich gefunden habe, sauer.

Ein über Schwefelsäure getrockneter und in Wasser wieder aufgeweichter Muskel wird todtenstarr und sauer vorgefunden.

Ein in Olivenöl bei einer Temperatur unter — $6^0$ C. erfrorner Muskel wird nach dem Aufthauen todtenstarr und sauer vorgefunden.[2]

Ein fünf Minuten lang in Wasser von $45^0$ eingetauchter Muskel wird todtenstarr und sauer vorgefunden. Man könnte meinen, dass dies vielleicht weniger die Wirkung der Wärme, als des Wassers sei, welches wegen der durch die Wärme begünstigten Diffusion rascher in den Muskel eindringe, so dass dieser Versuch mit dem zusammenfalle, wo der Muskel längere Zeit in Wasser von mittlerer Temperatur verweilt. Allein der Erfolg ist ganz derselbe, wenn statt Wassers Quecksilber oder Olivenöl von gleicher Temperatur angewendet werden.

[304] In allen diesen Fällen also sehen wir, wie im Verlauf des natürlichen Absterbens des Muskels, die Erstarrung des Muskels von Säurung begleitet. Doch würde es voreilig sein, daraus den Schluss zu ziehen, dass diese Verknüpfung eine nothwendige sei. Sogleich die weitere Verfolgung der Einwirkung der Wärme auf die Muskeln wird uns ein Beispiel vom Gegentheil liefern.

Sechs Muskeln, $A$, $B$, $C$, $D$, $E$, $F$ werden beziehlich fünf Minuten lang in Wasser von 45, 50, 55, 60, 75, $100^0$ getaucht. Alle verlieren natürlich ihre Leistungsfähigkeit und werden todtenstarr, die den höheren Temperaturgraden ausgesetzten sogar doppelt todtenstarr, wegen der Ge-

---

[1] Mit Wasser ist stets destillirtes Wasser gemeint. Das hiesige Brunnenwasser reagirt schwach alkalisch von doppelt kohlensaurem Kalk. Die angewandten Froschmuskeln waren stets die Wadenmuskeln.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 181.

rinnung nicht nur des Muskelfaserstoffes, sondern auch des Muskeleiweisses. Untersucht man die Reaction des Querschnittes dieser sechs Muskeln, so stösst man auf ein sehr unerwartetes Ergebniss. Muskel *A* reagirt, wie schon gesagt, entschieden sauer. Die Reaction von Muskel *B* und *C* ist zweifelhaft, die von *B* mehr säuerlich, die von *C* mehr neutral. Muskel *D* ist durchaus neutral, Muskel *E* neigt zum Alkalischen, und endlich Muskel *F*, der fünf Minuten in siedendem Wasser verweilt hat, reagirt ganz deutlich alkalisch.

Froschmuskeln, die einzeln der Siedhitze ausgesetzt waren (S. unten S. 20), habe ich nie sauer werden sehen, wenn ich sie bei mittlerer Temperatur der Fäulniss überliess.

Ganz dieselben Versuche habe ich, nur mit Auslassung einzelner Temperaturen, mit Oel und Quecksilber statt mit Wasser angestellt und im Wesentlichen ganz denselben Erfolg beobachtet.

Was mich dabei vornehmlich in Erstaunen setzte, war der Widerspruch, in dem diese Versuche zu stehen schienen mit der bekannten Erfahrung Hrn. v. Liebig's, wonach die Fleischflüssigkeiten der verschiedensten Thiere, obschon sie der Siedhitze ausgesetzt waren, sauer reagiren.[1] Als ich aber beim Schlächter gekauftes Rindfleisch, welches eine sehr starke saure Reaction besass, sodann freiwillig erstarrte und sauer gewordene Froschmuskeln, endlich sogar Froschmuskeln, die durch fünf Minuten Aufenthalt in 45° sauer gemacht worden waren, eine Viertelstunde lang kochte, blieben die Muskeln nach wie vor sauer. Es war also klar, dass, wenn einmal die Muskeln sauer geworden sind, sie [305] durch die Siedhitze nicht mehr ihre saure Reaction einbüssen, und daraus schien unmittelbar zu folgen, dass die Muskeln *C* bis *F* in der obigen Versuchsreihe niemals sauer gewesen seien.

Andere Versuche indess verhinderten mich zunächst auf diese Schlussfolge einzugehen. Taucht man nämlich einen Muskel in siedendes Wasser, so ist deutlich, dass alle seine Theile folgweise sämmtliche Grade von der ursprünglichen Temperatur bis zur Siedhitze durchlaufen werden. Zieht man den Muskel zu einer Zeit heraus, wo noch nicht alle seine Theile die Siedhitze erreicht haben, und untersucht man dann die Reaction seines Querschnittes, so wird, falls verschiedenen Temperaturen verschiedene Reactionen des Muskels entsprechen, der Abdruck des Muskels auf dem Lakmuspapier sich aus concentrischen Ringen von verschiedener Färbung zusammensetzen müssen, deren jeder, von aussen nach innen fortschreitend, einer isothermen Schicht von geringerer Temperatur ent-

[1] Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1847. Bd. LXII. S. 289; — Chemische Untersuchung über das Fleisch. Heidelberg 1847. S. 33.

spricht. Der Versuch bestätigte diese Voraussicht vollkommen. Tauchte ich nämlich einen Muskel vom Frosch nur wenige (4—6) Secunden hindurch in siedendes Wasser oder gleich warmes Quecksilber, so zeigte sich im Abdruck des Muskelquerschnittes auf Lakmuspapier ein rother Ring, der einen Hof von neutraler Reaction, wie sie dem frischen Muskel zukommt, umschloss. Hielt ich den Muskel etwas länger, 6—9 Secunden, in der 100° warmen Flüssigkeit, so entstand nachher auf dem Papier ein fast gleichmässig roth gefärbter Fleck, umgeben mit einem Saum von zweifelhafter, auf der Grenze von neutraler und alkalischer Reaction stehender Färbung. Liess ich den Muskel noch länger in der Siedhitze, so erschien der Saum immer breiter und deutlicher alkalisch, bis zuletzt, wozu gewöhnlich schon eine Minute Aufenthalt im siedenden Wasser ausreichte, der ganze Fleck, wie schon oben gesagt wurde, auf alkalische Beschaffenheit hindeutete. Genaue Zeitbestimmungen lassen sich hier nicht füglich geben, da die Zeit, innerhalb welcher ein gegebener Punkt im Inneren des Muskels eine gegebene Temperatur erreicht, von mehreren zum Theil schwer zu bestimmenden Umständen abhängt, die es sich nicht der Mühe verlohnen würde, methodisch durchzuprüfen; als da sind die ursprüngliche Temperatur des Muskels, seine Grösse, die [306] Natur des siedheissen Mittels, seine Menge, die Wärmemenge die ihm in der Zeiteinheit zugeführt wird, u. d. m.

Aus diesen Versuchen scheint sich, im Widerspruch mit dem Schluss, zu dem wir so eben gelangt waren, unwiderleglich zu ergeben, dass allerdings die einzelnen Theile eines in siedendes Wasser getauchten Muskels verschiedene Reactionsarten durchlaufen, indem sie zuerst durch eine gewisse Reihe niedrigerer Temperaturen, etwa denen von 40—50°, sauer, durch eine Reihe darüber liegender aber wiederum neutral werden, um zuletzt aus der Siedhitze alkalisch hervorzutreten. Die höheren Temperaturen, so scheint es nunmehr, müssen das Vermögen besitzen, die durch die niederen Temperaturen im Muskel entwickelte Säure auf irgend eine Art wieder zu vernichten. Dabei ist aber ganz unverständlich, wie es komme, dass, während sie dies Vermögen in Bezug auf die Säure besitzen, die im Muskel durch ein paar Secunden langes Eintauchen in siedheisse Flüssigkeit entwickelt wird, sie dasselbe entbehren in Bezug auf die Säure, die entweder durch freiwilliges Absterben oder durch einen längeren Aufenthalt in einer Temperatur von 40—50° entsteht.

Eine Möglichkeit, wie dies zu erklären gewesen wäre, war die, dass die durch kurzes Eintauchen entwickelte Säure anderer Art als die durch langes Verweilen in der Wärme gebildete, nämlich flüchtiger Natur sei. Allein ich gab diesen Gedanken auf, nachdem ich beobachtet hatte, dass Muskeln auch aus Oel und Quecksilber von 60—95° neutral bis alkalisch

hervorgingen, ohne dass ich das Entweichen auch nur der kleinsten Blase hätte wahrnehmen können.

Eine andere Art, jene Schwierigkeit zu heben, bestand darin, anzunehmen, dass die Menge der durch die säuernden Temperaturen, um mich so auszudrücken, entwickelten Säure bis zu einer gewissen Grenze wachse mit der Zeit, während welcher der Muskel diesen Temperaturen ausgesetzt ist, so dass in dem nur wenige Secunden in siedheisse Flüssigkeit getauchten Muskel nur eine kleine, in dem längere Zeit auf 45° erwärmten Muskel eine verhältnissmässig bedeutende Säuremenge frei werde; dass sodann bei den höheren Temperaturen eine Entwickelung von Alkali, vielleicht von Ammoniak, stattfinde; endlich dass die Menge dieses Alkali's zwar zur Uebersättigung der durch kurzes [307] Eintauchen, nicht aber zur Sättigung der durch längeren Aufenthalt in den säuernden Temperaturen entwickelten Säure hinreiche.

Mit dieser Vorstellungsweise war es jedenfalls leicht in Einklang zu bringen, dass ein Muskel, der mit kaltem Wasser beigesetzt und damit bis zur Siedhitze erwärmt wird, nicht alkalisch, sondern sauer gefunden wird; ebenso dass man eine grössere Muskelmasse, wie z. B. die beiden noch im Becken verbundenen Oberschenkel eines Frosches wenigstens im Inneren sauer findet, auch wenn man sie plötzlich in siedheisse Flüssigkeit taucht und beliebig lange Zeit darin verweilen lässt, besonders aber, wenn die Menge der Flüssigkeit verhältnissmässig klein ist. Denn in beiden Fällen werden die einzelnen Theile des Muskelinneren länger auf den säuernden Temperaturen verweilen, als wenn eine kleinere Muskelmasse mit verhältnissmässig grösserer Oberfläche, wie ein einzelner Gastroknemius vom Frosche sie darbietet, plötzlich in siedheisse Flüssigkeit getaucht wird. In jenen Fällen (stellte ich mir vor) wird mehr Säure entwickelt, als dass sie durch das nachmals entwickelte Alkali übersättigt werden könnte.

Was nun aber diese Entwickelung eines Alkali's im Muskel durch die Siedhitze betrifft, so bemühte ich mich vergeblich eine fernere Thatsache zur Stütze dieser Muthmassung auszumitteln. Ammoniak konnte jenes Alkali keinenfalls sein, denn die blauen Flecke, die ein dergestalt alkalisch gemachter Muskel auf dem rothen Papier hinterlässt, sind bleibender Beschaffenheit, und als ich einen mit passend verdünnter Chlorwasserstoffsäure benetzten Glasstab über gekochtes und zerhacktes Froschfleisch hielt, entstand keine Spur von Salmiaknebeln. Da die Grenze der säuernden Temperaturen und derjenigen, aus denen der Muskel neutral hervorgeht, auffallend genau zusammenfällt mit den Temperaturen, bei denen nach Berzelius[1] das Albumin des Rindfleisches, nach Hrn.

[1] Lehrbuch der Chemie u. s. w. Bd. IX. 1840. S. 571.

Grohé[1] das der Froschmuskeln gerinnt, so versuchte ich, ob beim Kochen der oben beschriebenen eiweisshaltigen neutral reagirenden Flüssigkeit, welche strotzend mit Wasser angefüllte Froschmuskeln entleeren, oder beim Kochen von Rinderblutserum, welches ich mit Chlorwasserstoffsäure neutralisirt [308] hatte, Alkali frei würde; aber es gab sich keine Spur davon zu erkennen.

Ferneres Nachdenken über die Sachlage deckte mir denn auch eine Lücke in meinen Versuchen auf, deren Ausfüllung alsbald zu einer anderen Auffassung führte. Ich hatte nämlich versäumt mich davon zu überzeugen, ob ein durch wenige Secunden langes Eintauchen in siedheisse Flüssigkeit grossentheils sauer gewordener und als solcher erkannter Muskel, wenn er wieder in die Flüssigkeit gebracht und längere Zeit darin gelassen wird, auch wirklich wieder neutral oder gar alkalisch wird. Freilich scheint sich dies von selber zu verstehen; doch trifft es in Wirklichkeit nicht zu. Lässt man einen Muskel dauernd in der siedheissen Flüssigkeit, und untersucht nach einiger Zeit seine Reaction, so findet man diese, wie gesagt, alkalisch. Zieht man ihn aber nach 4—6 Secunden heraus, untersucht seine Reaction, die man für einen ausgedehnten ring- oder kreisförmigen Theil des Querschnittes sauer findet, oder lässt man den Muskel auch bloss erkalten ohne diese Prüfung vorzunehmen, und taucht ihn dann wieder auf unbestimmte Zeit in siedheisse Flüssigkeit, so wird er nie wieder neutral, geschweige alkalisch, sondern bleibt immerdar sauer.

Hieraus geht hervor, dass es eine Täuschung war, wenn wir annahmen, ein der Siedhitze ausgesetzter Muskel durchlaufe mit steigender Temperatur seines Inneren verschiedene Reactionsarten. In der That wird dabei der Muskel zu keiner Zeit sauer. Damit ein Muskel sauer werde, ist es nöthig, dass seine einzelnen Theile eine gewisse nicht zu kurze Zeit auf den säuernden Temperaturen verweilen. Wird der Muskel in eine hinlängliche Masse siedheisser Flüssigkeit getaucht, so durchlaufen seine einzelnen Theile die säuernden Temperaturen schneller, als dass er sauer werden könnte. Zieht man aber den Muskel nach einer gewissen kurzen Frist heraus, so behält er, indem er an der Luft erkaltet, die säuernde Temperatur von 50—40$^{0}$ noch lange genug bei, um ausgesprochen sauer zu werden.

Diese Ansicht von der Sache also versöhnt alle obigen Widersprüche. Es würde nur übrig bleiben den Unterschied zu erklären, der, wie mir wenigstens hat scheinen wollen, obwaltet zwischen der Reaction einerseits von rohen frischen Muskeln [309] und solchen, die einige Zeit einer

[1] Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1853. Bd. LXXXV. S. 237.

Temperatur von 50—70° ausgesetzt waren, andererseits gesottener Muskeln. Die letzteren muss ich für alkalischer ansprechen. Im Vergleich zu den bei 50—70° erstarrten Muskeln ist dies nicht so schwer zu verstehen, da bei diesen Temperaturen immer noch eine gewisse Säuremenge frei werden mag. Sollte sich aber die grössere Alkalescenz des gekochten Muskels im Vergleich zur Reaction des rohen frischen Muskels bestimmt herausstellen, so würde dies freilich weitere Aufklärung erheischen. Vielleicht rührt der wahrgenommene Unterschied nur von der auffallend grösseren Flüssigkeitsmenge her, welche der gekochte Muskel von sich giebt.

Da uns dieser Punkt indessen minder nah angeht, so überlasse ich dessen weitere Erörterung Hrn. KÜHNE, den selbständig geführte Untersuchungen, wie ich aus brieflicher Mittheilung weiss, zu der mit dem obigen Ergebniss übereinstimmenden Vorstellung geführt haben, dass rasch einwirkende Siedhitze den Muskel in seinem natürlichen Zustand, auch was seine Reaction betrifft, gleichsam conservire, während gewisse niedere Temperaturen, wenn sie länger einwirken, dem Muskel saure Reaction ertheilen.

Wie dem auch sei, die Einwirkung der Siedhitze auf den Muskel bietet uns, wie man sieht, das erste Beispiel dar einer ohne Säurung des Muskels vor sich gehenden Gerinnung des Muskelfaserstoffes. Eine andere Art des Temperatureinflusses liefert aber sofort noch ein zweites. Bewahrt man nämlich einzelne Muskeln vom Frosch bei einer Temperatur von etwa 0° auf, so werden sie zu keiner Zeit deutlich sauer, sondern gehen unmittelbar aus der neutralen Reaction über in die alkalische, welche der ausgesprochenen Fäulniss angehört. Allerdings kommt es vor, dass der Abdruck des Querschnittes auf blauem Grunde roth gesprenkelt erscheint; andere Male ereignet sich das Sonderbare, dass anfangs auf dem rothen Papier ein blauer, auf dem blauen Papier kein Fleck erscheint, dass aber beim Trocknen der erstere Fleck verschwindet, während auf dem blauen Papier ein rother Fleck hervortritt. Nie jedoch sieht man die in der Kälte aufbewahrten Muskeln auch nur entfernterweise so von Säure überfliessen, wie solche, welche bei mittlerer Temperatur die Fäulniss durchmachen.

[310] Ebensowenig habe ich Muskeln sauer werden sehen, die ich in gesättigte Lösungen von Chlornatrium, salpetersaurem Kali, schwefelsaurem Natron und schwefelsaurer Magnesia gelegt hatte, während wenigstens das Syntonin aus seiner Lösung in verdünnter Chlorwasserstoffsäure durch Zusatz von Salzlösungen gefällt wird. Auch in absoluten Alkohol gelegte, nachher in Wasser aufgeweichte Muskeln fand ich nicht deutlich sauer.

Aus diesen Versuchen folgt somit wohl mit hinlänglicher Bestimmtheit, dass das Freiwerden von Säure im Muskel keine nothwendige und unmittelbare Folge der Gerinnung des Muskelfaserstoffes sei, sondern dass unter Umständen letztere allerdings stattfinden könne, ohne erstere nach sich zu ziehen. Ehe wir aber über die Natur des Vorganges der Säurebildung im absterbenden Muskel weitere Muthmassungen äussern, wird es zweckmässig sein, zuerst noch durch Untersuchung der Muskeln anderer, besonders warmblütiger Thiere uns zu unterrichten, inwiefern das am Frosch Beobachtete auch wirklich von allgemeiner Geltung sei.

Unter den Fischen prüfte ich die Karausche (*Cyprinus carassius*), den Schlei (*Chrysitis tinca*), den Hecht (*Esox lucius*) und den Barsch (*Perca fluviatilis*) auf die Reaction des Querschnittes des von den lebenden Fischen abgeschnittenen Schwanzes. Ich fand sie alkalisch und erst später, der gewöhnlichen Angabe entsprechend, sauer; wobei jedoch das Barschfleisch eine Ausnahme machte, welches ich in zwei Versuchen nicht deutlich sauer, sondern nur in der oben bezeichneten Art neutral werden sah, auch wenn ich es fünf Minuten lang in 45° warmes Wasser tauchte oder unbestimmte Zeit in Wasser von mittlerer Temperatur liegen liess.

Stücke aus dem grossen Brustmuskel einer den Augenblick vorher geköpften Taube, eines mit Curara vergifteten Huhnes geschnitten, reagirten, erstere mehr alkalisch, letztere mehr neutral. Von Säure war auch hier an den frischen Muskeln keine Spur bemerkbar, obschon diese nach eingetretener Starre auf das deutlichste sauer gefunden wurden. In Bezug auf die Wirkung der Wärme verdient bemerkt zu werden, dass bei den Vogelmuskeln die Temperatur von 45°, die ja nur [311] wenige Grade über der Blutwärme des Vogels liegt, zur Säurung des Muskels nicht ausreicht, sondern dass 50—55° C. dazu erforderlich sind. Siedendes Wasser ertheilt dem Vogelfleisch die neutrale Reaction in der oben beschriebenen Art; wobei ich Sorge trug, nicht grössere Stücke Muskelfleisch zu den Versuchen anzuwenden, als solche welche etwa einem einzelnen Gastroknemius des Frosches entsprachen, um sicher zu sein, dass das Verhältniss der Oberfläche zur Masse für das Eindringen der Wärme kein minder günstiges gewesen sei.

Was die Säuger betrifft, so experimentirte ich im Schlachthause an Rind und Schwein, im Laboratorium an Hund, Kaninchen und Meerschweinchen (*Cavia Cobaya*). Das Fleisch aller fand ich anfangs mehr oder weniger deutlich alkalisch, und oft erst nach Stunden trat die saure Reaction hervor. Die Abwesenheit der sauren Reaction an den frischen menschlichen Muskeln hat, wie ich aus brieflicher Mittheilung weiss, mein Freund Hr. H. Bence Jones in London bei Gelegenheit einer Amputation beobachtet.

In allen diesen Versuchen enthielten die Muskeln noch Blut. Ich unterliess aber nicht auch hier wie bei den Froschmuskeln noch den Beweis zu führen, dass die neutrale oder alkalische Reaction des Muskelquerschnittes nicht etwa von einer Sättigung, beziehlich Uebersättigung der in den Muskeln fertig gebildet enthaltenen Säure durch das Alkali des Blutes herrührte. In die Bauchaorta eines lebend geöffneten Kaninchens spritzte ich blutwarmes Zuckerwasser von dem oben angegebenen Procentgehalt, bis das Wasser farblos aus der unteren Hohlvene floss; die Reaction der blutleeren Muskeln war aber von derjenigen mit Blut erfüllter Muskeln desselben Thieres kaum zu unterscheiden. Mit solchem blutleeren Kaninchenfleisch wiederholte ich die an den Vogelmuskeln angestellten Versuche über den Einfluss der Wärme auf die Reaction der Muskeln. Fünf Minuten lang in Wasser von 50⁰ getauchtes Muskelfleisch hatte saure Reaction angenommen; kleine Stücke in siedendes Wasser gehalten wurden dagegen nicht sauer, sondern nur neutral gefunden.

Einen gleichbedeutenden Versuch mit dem am Kaninchen stellte ich am Hunde an, indem ich an dem durch Curara ge- [312] lähmten Thiere von der *Arteria iliaca communis* aus das eine Bein mit Zuckerwasser von mittlerer Temperatur ausspritzte. Beim Entleeren der zweiten und dritten Spritze (von 47 $^{ccm}$ Inhalt) entstanden leichte Zuckungen. Die Muskeln, obwohl blutleer, blieben noch deutlich roth gefärbt. Ihre Reaction war neutral in der angegebenen Art; auf violettem Papier machten sie gar keinen Eindruck. Die mit Blut erfüllten Muskeln der anderen Seite reagirten ziemlich ausgesprochen alkalisch.

Wie man sieht, haben uns unsere Beobachtungen an den Froschmuskeln nicht irre geführt. Man wird wohl jetzt den Schluss für gerechtfertigt halten, dass es in der Wirbelthierreihe keine quergestreiften Muskeln gebe, die im frischen Zustande saure Reaction besitzen. Auf die Muskeln wirbelloser Thiere habe ich meine Untersuchungen noch nicht ausgedehnt.

Dagegen bin ich bemüht gewesen, mich über die Reaction der glatten Muskelfasern in's Klare zu setzen. Die früheren Angaben darüber widersprechen einander. Hr. Lehmann will den wässrigen Auszug aus der Muskelhaut des Schweinemagens und aus der mittleren Arterienhaut des Rindes schwach sauer, den aus der *Tunica dartos* ohne alle Reaction auf Pflanzenfarben gefunden haben.[1] Hr. Gustav Siegmund

---

[1] Lehrbuch der physiologischen Chemie. Leipzig. Bd. I. 1850. S. 109; — Bd. III. 1852. S. 72. 79. 98; — Fortsetzung von L. Gmelin's Handbuch der Chemie u. s. w. Heidelberg 1857. Bd. VIII. Abth. II. S. 478.

hat aus dem Uterus einer nach der künstlichen Frühgeburt im achten Monat der Schwangerschaft verstorbenen Frau Ameisensäure, Essigsäure[1] und später noch, wie ich aus mündlicher Mittheilung weiss, Milchsäure dargestellt. Hingegen Hr. M. S. Schultze[2] giebt an, den wässrigen Auszug aus der mittleren Haut einer frischen Ochsenaorta alkalisch gefunden zu haben.

Die unstreitig beste Gelegenheit, eine grosse und möglichst reine Anhäufung glatter Muskelfasern im völlig frischen Zustande zu beobachten, bietet der Muskelmagen der Vögel dar. Hr. Leydig betrachtet zwar dessen Faserzellen als bereits einen Uebergang bildend zu den quergestreiften Muskelbündeln.[3] Um so auffallender wird es erscheinen, dass ich vom frisch getödteten Thier entnommene Stücke des Muskelmagens des Huhnes und der Taube mehrmals bei mittlerer Temperatur bis zur stinkenden Fäulniss verfolgt habe, ohne je eine Spur saurer Reaction wahrzunehmen. Die Reaction war anfangs schwach alkalisch, und blieb so bis zur Ammoniakentwickelung durch die Fäulniss, [313] wo sie deutlicher ward. Auch in Wasser von mittlerer Temperatur unbestimmte Zeit hindurch verweilend wurden Stücke vom Muskelmagen nicht sauer; ebenso wenig in Wasser von den verschiedensten Temperaturen bis zur Siedhitze. Nicht minder habe ich die Muskelhaut des Dickdarms und die Aorta eines vor meinen Augen geschlachteten Ochsen alkalisch reagirend gefunden, und dieselbe Reaction fort und fort bis zur ausgesprochenen Fäulniss beobachtet. Auch der Darm des Schleies und das contractile Gaumenorgan der Cyprinoïden haben mir keine saure Reaction geben wollen, obwohl eine solche wegen der darin enthaltenen quergestreiften Bündel zu erwarten war. Vielleicht wurde sie durch die alkalische Reaction der umgebenden Gewebe verdeckt. Ein zu dieser Untersuchung passender Uterus ist leider seit der Zeit, wo ich Veranlassung fand danach zu trachten, bis auf den heutigen Tag meinen Freunden den Hrn. Reichert und Virchow nicht vorgekommen.

Für die Erklärung der von Hrn. Siegmund am Uterus gemachten Beobachtung wird sich uns weiter unten eine Auskunft bieten. Wie die

---

[1] Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft in Würzburg. Redigirt von A. Kölliker, F. Scanzoni, J. Scherer. Bd. III. 1852. S. 50.

[2] Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1849. Bd. LXXI. S. 283. — Lehmann a. a. O. und Schlossberger (Die Chemie der Gewebe u. s. w. Leipzig und Heidelberg 1856. Die kontraktilen Thier-Substanzen. S. 165) wollten dies durch beginnende Fäulniss erklären.

[3] Lehrbuch der Histologie u. s. w. Frankfurt a. M. 1857. S. 324. — [Die Bemerkung findet sich schon bei Hrn. Bowman in seinem Artikel 'Muscle' im 3. Bande von Todd's Cyclopaedia of Anatomy and Physiology. 1839—1847. p. 514.]

Sachen stehen, muss ich urtheilen, dass wenn die frühere Ansicht von der sauren Beschaffenheit der quergestreiften Fleischfaser in so fern unrichtig war, als diese Beschaffenheit sich erst in Folge einer Leichenveränderung einstellt, die Lehre von der sauren Natur der glatten Muskelfaser nicht einmal so weit zutrifft, da diese Faser nach meinen Erfahrungen vielmehr zu keiner Zeit ihres Absterbens aufhört, alkalisch zu reagiren.

Bis hieher reichen meine Ermittelungen über die Reaction der ausgeruhten absterbenden Muskeln. Ueber die Entstehungsweise der Säure in Folge des Erstarrens habe ich nichts beizubringen. Die Hrn. Lehmann[1] und Schlossberger[2] halten es nicht für unmöglich, dass die Fleischmilchsäure ein Zersetzungsproduct eiweissartiger Körper sei. Hr. Schlossberger bemerkt, dass, obschon der Scherer'sche Muskelzucker in Berührung mit faulenden Eiweisskörpern, Fibrin und Casein, der Milchsäure-Gährung fähig scheine,[3] dies doch kaum der Ursprung der Fleischmilchsäure sein könne, weil dazu die Menge des Inosits sogar im Herzen, wo er noch am reichlichsten vorkommt, eine viel zu kleine sei. Erwägt man, dass die Säurung des Muskels [314] durch Temperaturerhöhung innerhalb gewisser Grenzen ausnehmend beschleunigt, durch Temperaturerniedrigung hingegen gehemmt, dass sie durch Siedhitze, Alkohol, Salze gänzlich verhindert wird, so ist es freilich nicht leicht, sich der Vorstellung zu erwehren, dass man es hier mit einem wahren Gährungsvorgange zu thun habe.[4] Es ist aber jetzt an der Zeit, Kenntniss zu nehmen von einem weiteren Umstande, wodurch einestheils die bisher aufgedeckten Thatsachen ganz ungemein an Bedeutung gewinnen, anderentheils deren Erklärungsweise auf alle Fälle wesentlich bedingt werden dürfte. Dies ist die Eingangs schon erwähnte Säurung der noch leistungsfähigen Muskeln in Folge heftiger Anstrengungen.

Ein Frosch werde so zugerichtet, dass nur noch die Wirbelsäule mit dem darin enthaltenen Rückenmarke, der Ischiadnerv und der zugehörige Gastroknemius übrig bleiben. Dieser werde mittels des Schlitten-

---

[1] Lehrbuch der physiologischen Chemie. Bd. I. Leipzig 1850. S. 105 ff. — Fortsetzung von L. Gmelin's Handbuch der Chemie u. s. w. Heidelberg 1857. Bd. VIII. Abth. II. S. 488.

[2] Die Chemie der Gewebe u. s. w. Leipzig und Heidelberg 1856. Die kontraktilen Thier-Substanzen. S. 246 ff.

[3] Scherer, Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1850. Bd. LXXIII. S. 326. 327.

[4] [Vergl. die neueste über die hier geäusserte Vermuthung erschienene Arbeit: O. Nasse, Untersuchungen über die ungeformten Fermente. Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie. 1875. Bd. XI. S. 138.]

Magnetelektromotors bis zur Erschöpfung tetanisirt, indem man zuerst das Rückenmark, dann am Ischiadnerven herabsteigend dessen einzelne Strecken, endlich den Muskel selber den Strömen aussetzt. Bei jeder neuen Strecke, die man in den Kreis einführt, beginnt man mit den schwächsten Strömen, welche noch Zuckung geben, und geht nicht eher zu einer neuen, tiefer gelegenen Strecke über, als bis auch die stärksten Schläge, die man vernünftigerweise anwenden kann, keine Zuckung mehr erzeugen. Untersucht man darauf die Reaction des Querschnittes eines dergestalt tetanisirten Muskels, so findet man diese oft, wenigstens stellenweise, entschieden sauer; im schlimmsten Falle wenigstens stets mehr zur sauren Reaction sich hinneigend, als die des in Ruhe gebliebenen Gastroknemius der anderen Seite, und zwar in viel zu auffallendem Grade, um den Unterschied auf die durch die Zusammenziehung etwa bedingte grössere Blutleere des tetanisirten Muskels schieben zu können. Nach wenigen Minuten Ruhe übrigens ziehen sich die Bruchstücke des so bei seinen Lebzeiten gesäuerten Muskels wieder kräftig auf mässig starke Reizung zusammen.

Man kann gegen diesen Versuch denselben Einwand machen, dem Hr. Helmholtz bei seinen berühmten Versuchen über den chemischen Stoffverbrauch bei der Muskelaction[1] dadurch zuvor- [315] kam, dass er sich zum Tetanisiren reibungselektrischer Entladungen bediente, welche im Verhältniss zu ihrer elektrolytischen eine sehr bedeutende physiologische Wirkung besitzen; nämlich dass, da der Muskel selber zuletzt den Strömen ausgesetzt wurde, dessen Säurung möglicherweise eine elektrolytische Wirkung dieser Ströme, statt eine Folge der Zusammenziehungen sei. Indessen gelingt es, den Versuch mit wesentlich demselben Erfolg anzustellen, auch ohne die Schläge zuletzt den Muskel unmittelbar treffen zu lassen; nur dass alsdann die Säurung, wegen der geringeren Summe von Zusammenziehungen, die man vom Nerven aus zu erlangen vermag, auf einer niedrigeren Stufe stehen bleibt.

Besser gelingt die Säurung des Muskels durch mittelbare Reizung am lebenden Frosch, und zwar in folgender Weise. Der Frosch wird auf der von mir in meinen 'Untersuchungen'[2] beschriebenen 'Vorrichtung zur Befestigung des lebenden Frosches' gefesselt, die Bauchaorta unterbunden, und der eine Ischiadnerv in der Kniekehle durchschnitten. Am Rücken bringt man in Schulter- und Lendengegend entweder die ebendaselbst beschriebenen 'Froschhautklemmen'[3] an, oder man verfährt in der gleichfalls dort bereits bezeichneten Art, nämlich indem man Streife dünnen Zink-

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1845. S. 72.
[2] A. a. O. Bd. I. S. 453—456. Taf. III. Fig. 23. 24. Taf. IV. Fig. 22.
[3] A. a. O. S. 456. 457. Taf. III. Fig. 24—26. — Bd. II. Abth. II. Taf. V. Fig. 142.

bleches durch zwei Hautschlitze führt, die man in jenen beiden Gegenden, der Längsmittellinie gleichlaufend, in passendem Abstand von dieser angebracht hat. Die Zinkstreife, an deren eines Ende ein Draht gelöthet ist, oder die Froschhautklemmen, dienen als Elektroden der secundären Rolle des Schlitten-Magnetelektromotors. Das eine Ende der primären Rolle ist mit dem Pendel eines Mälzel'schen Metronoms verknüpft, das andere durch zwei Drähte mit dem Platin und mit dem Zink zweier kleinen Grove'schen Ketten. Das Zink und Platin dieser stehen in Verbindung mit zwei Quecksilbernäpfchen, und eine jederseits an dem Pendel angebrachte verquickte Spitze taucht jedesmal etwa eine Secunde lang in das eine oder das andere dieser Näpfchen, wenn das Pendel seine grösste Ablenkung erreicht hat. Man übersieht leicht, wie dadurch bewirkt wird, dass abwechselnd die eine und die andere der beiden entgegengesetzt angeordneten Ketten eine Secunde lang in den Kreis der primären Rolle eingeschaltet wird. So lange dies [316] der Fall ist, spielt die Feder des Magnetelektromotors, und es wird also das Rückenmark des Frosches in Zwischenräumen, welche der Schwingungsdauer des Pendels weniger einer Secunde gleich sind, eine Secunde lang abwechselnd in der einen und in der anderen Richtung von den Oeffnungsschlägen getroffen. Es geben sich, bei diesem Verfahren, mancherlei eigenthümliche Erscheinungen kund, auf die ich hier nicht näher eingehen will. Es genüge die Angabe, dass, da die aufsteigenden Ströme bald unwirksam werden, die absteigenden aber leicht zwei Stunden lang wirksam bleiben, bei 38·5 Schwingungen des Pendels in der Minute der Muskel mindestens $120 \times 19 \cdot 25 = 2310$ mal eine Secunde, oder im Ganzen 38·5 Minuten lang, mit Erfolg mittelbar tetanisirt wurde, was eine weit grössere Summe von Zusammenziehungen vorstellt, als sie bei einer anderen mir bekannten Art mittelbar zu tetanisiren erzielt wird.

Versagt endlich der Muskel vom Rückenmark aus weitere Zuckungen, so wird er mit dem der anderen Seite, der gar nicht gezuckt hat, ausgeschnitten, wobei er die Durchschneidung des *N. tibialis* leicht noch mit Zuckung beantwortet, und die Reaction seines Querschnittes geprüft. Man findet diese meist deutlich sauer, während ich kaum zu sagen brauche, dass der Querschnitt des anderen Muskels noch die übliche neutrale, zum Alkalischen sich hinneigende Reaction zeigt. Dies Ergebniss ist um so auffallender, als sich merkwürdigerweise stets der tetanisirte Muskel als der bei weitem blutreichere zeigt. Man kann den Frosch am Leben erhalten, um sich davon zu überzeugen, wie er nach kurzer Zeit und, trotz der unterbundenen Bauchaorta, auch noch am folgenden Tage die Muskeln des gleichfalls tetanisirten Oberschenkels ganz gut beherrscht.

Die Bauchaorta unterband ich bei diesen Versuchen in der Absicht

zu verhindern, dass nicht das stets erneute alkalische Blut die in dem Muskel entwickelte Säure sättige, und etwa in Gestalt fleischmilchsauren Natrons fortführe. Ich habe einige Versuche angestellt, welche zu beweisen scheinen, dass diese Vorsicht nicht ganz überflüssig war. Als ich nämlich denselben Versuch ohne Unterbindung wiederholte, gab sich ein weit kleinerer Unterschied zwischen der Reaction des ruhigen und der des tetanisirten Muskels zu erkennen. Als ich sodann beide Nerven [317] unversehrt liess, und statt der Aorta die eine *A. iliaca communis* unterband, zuckten die Muskeln der Seite, wo nicht unterbunden war, länger und stärker als die der anderen, und erschienen verhältnissmässig blutleer. Nichtsdestoweniger gaben sie keine deutliche Zeichen der Säurung, während die Muskeln der anderen Seite, wo unterbunden war, obschon von Blute strotzend und folglich viel reicher an Alkali, entschieden sauer gefunden wurden.

Zerschneidet man einem Frosch, dessen Aorta unterbunden ward, den einen Ischiadnerven, vergiftet dann den Frosch mit Strychnin, und vergleicht die Reaction der beiden Gastroknemien, so findet man diese auf beiden Seiten neutral, obschon die des tetanisirten allerdings etwas mehr zum Sauren neigt. Der mangelhafte Erfolg dieses Versuches rührt wohl davon her, dass dabei die Summe der Zusammenziehungen eine kleinere bleibt, als dass eine bemerkbare Spur von Säure im Muskel aufgehäuft werden könnte.

So bleibt also die Säurung des Muskels durch Tetanus beim Frosche stets eine ziemlich zarte Erscheinung, deren Nachweis mit nicht geringen Schwierigkeiten zu kämpfen hat. Anders ist es beim Kaninchen. Hier gelingt auf das leichteste und sicherste der zuletzt beschriebene Versuch, dessen Ergebniss am Frosch so gut wie verneinend ist. Zerschneidet man einem Kaninchen den Ischiadnerven der einen Seite, vergiftet es mit Strychnin, und schneidet unmittelbar nach oder besser noch während dem letzten Krampfanfalle die Wadenmuskeln beider Seiten aus, so findet man die ruhigen neutral, die tetanisirten auf's entschiedenste sauer, so dass blaues Lakmuspapier bei längerer Berührung mit deren Querschnitt zwiebelroth gefärbt wird. Ebenso verhalten sich alle anderen am Strychninkrampf betheiligten Skeletmuskeln.[1]

Ich weiss nicht recht, warum derselbe Versuch am Hunde keinen ebenso günstigen Erfolg liefert. Ich fand in mehreren Fällen die ruhigen Muskeln alkalisch, die tetanisirten neutral. Allerdings also neigt die Reaction der letzteren mehr zum Sauren als die der ersteren, und viel-

[1] [Dies ist ein vollkommen zuverlässiger Vorlesungsversuch, den ich seitdem jedes Jahr mit Erfolg im Colleg anstellte.]

leicht erscheint sie nur deshalb nicht sauer, weil die Reaction der ruhigen Muskeln hier eine mehr ausge- [318] sprochen alkalische ist, so dass der Punkt, von dem aus die Muskeln sich bei der Zusammenziehung der sauren Reaction nähern, im Hund ein weiter davon entfernter ist, als im Kaninchen.

Man kann diesem Versuch am Kaninchen noch eine andere Gestalt geben. Das Thier wird auf dem Bauche liegend festgebunden, in Schulter- und Lendengegend eine Hautfalte in die Höhe gehoben, mit dem Scalpell durchstossen, und auf dem zur Führung dienenden Scalpellstiel ein Streif Zinkblech von etwa $15^{mm}$ Breite hindurchgeführt, an dessen eines Ende ein Draht gelöthet ist. Damit bei Bewegungen des Thieres die Blechstreife nicht wieder herausgleiten, knickt man deren freies Ende hakenförmig über die Hautbrücke um, unter welcher der Streif fortgeht. Diese Art, der Wirbelsäule eines Kaninchens Elektroden anzulegen, möchte der von Hrn. Pflüger in seinem Buch über das Hemmungsnervensystem der Gedärme empfohlenen vorzuziehen sein. Die beiden Zinkstreife werden mit den Enden der secundären Rolle des Magnetelektromotors verknüpft. Oeffnet man, bei passendem Abstande beider Rollen, den Schlüssel, so verfällt das Thier in Tetanus. Der Kopf wird zurückgebogen, die Pupille erweitert wegen Erregung der Ciliospinal-Gegend des Rückenmarkes, nicht selten schreit das Thier kläglich, endlich der ganze Körper geräth, wegen der Unterbrochenheit auch der scheinbar stetigsten Muskelzusammenziehung, in so heftiges und rasches Zittern, dass dadurch ein tiefer musikalischer Ton entsteht. Ich habe dies zuerst in den eben erwähnten Versuchen des Hrn. Pflüger zu beobachten Gelegenheit gehabt, als dieser Forscher, um das von ihm im Rückenmark vorausgesetzte Centralorgan der *Nn. splanchnici* zu reizen, Kaninchen in ähnlicher Art vom Rückenmark aus tetanisirte.[1] Musikalisch bestimmt habe ich jenen Ton nicht, es ist aber nicht zu bezweifeln, und gewiss bemerkenswerth, dass er dem Ton des Magnetelektromotors bedeutend an Höhe nachsteht.[2] Bei fortgesetztem Tetanisiren wird, unstreitig wegen

---

[1] Monatsberichte der Akademie. 1855. S. 489; — De Nervorum splanchnicorum Functione. Diss. inaug. etc. Berolini 1855. p. 11; — Ueber das Hemmungsnervensystem für die peristaltischen Bewegungen der Gedärme. Berlin 1857. S. 19.

[2] [Diese Beobachtung hat ihre wahre Bedeutung erst erhalten durch die Versuche des Hrn. Helmholtz über das Muskelgeräusch. S. Monatsberichte der Akademie. 23. Mai 1864. S. 307; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1864. S. 766; — Verhandlungen des naturhistorisch-medicinischen Vereins zu Heidelberg. 27. Mai 1864. Bd. III. S. 155. — 20. Juli 1866. Bd. IV. S. 88. — Vergl. Preyer, Ueber die Grenzen des Empfindungsvermögens und des Willens. Bonn 1868. 4°. S. 20. — Bernstein in Pflüger's Archiv u. s. w. 1875. Bd. XI. S. 191.]

des Krampfes der Athemmuskeln, das Blut des Kaninchens schwarz, und es kann leicht geschehen, dass Einem das Thier unter der Hand stirbt.

Ein Stück Muskel aus einem solchen Kaninchen ausgeschnit- [319] ten findet man sauer. Hat man auf der einen Seite den Ischiadnerven zerschnitten, so kann die neutrale Reaction der davon versorgten und in Ruhe gebliebenen Muskeln wie in den vorigen Versuchen zur Controle dienen. Dies ist nun nichts weiter als eine Bestätigung des mit Strychninvergiftung erhaltenen Ergebnisses. Allein die neue Versuchsweise hat vor jener das voraus, dass man dabei das Thier am Leben erhalten kann, und so Gelegenheit hat, eine Frage vom höchsten Interesse zu beantworten, nämlich die, was aus der in Folge des Tetanus im Muskel entwickelten Säure werde. Ich habe hierüber erst einen Versuch, aber mit recht günstigem Erfolg, angestellt. Nachdem ich nämlich ein Kaninchen so lange und so stark tetanisirt hatte, wie es möglich war ohne es zu tödten, schnitt ich ein Stück Muskelfleisch aus dem einen Oberschenkel aus, und fand es angegebenermaassen lebhaft sauer. Darauf wurde die Wunde zugenäht, und dem Kaninchen Ruhe gegönnt. Die ersten zwei Stunden lag es in tiefster Ermattung auf der Seite, und war ganz kalt anzufühlen; dann erholte es sich allmählich, setzte sich auf und fing wieder an zu fressen. Nach etwa fünf Stunden wurde die Wunde wieder geöffnet, und ein neues Stück Muskelfleisch ausgeschnitten, welches sich nicht mehr sauer verhielt. Abermals wurde die Wunde zugenäht, und das Thier zu weiteren Versuchen aufgehoben. Ein paar Tage darauf prüfte ich an diesem Kaninchen vergiftete Pfeile der Jakuns (Mintras) von Malacca, die mir Hr. Fedor Jagor von dort zuzusenden die Güte gehabt hatte. Es erfolgte Tetanus und Tod, wie nach Strychninvergiftung.[1] Ein drittes ausgeschnittenes Muskelstück erwies sich jetzt wieder deutlich sauer. Aus diesem Versuch ergiebt sich mit Gewissheit, dass wenige Stunden hinreichen, um die auch im ungewöhnlichsten Maass in den Muskeln durch Anstrengung erzeugte Säure unmerklich zu machen. Ich habe aber Grund anzunehmen, dass bei unversehrtem Kreislauf ein sehr viel kleinerer Zeitraum, vielleicht schon von wenigen Minuten, dazu ausreicht.

Da das Herz während des Lebens unablässig eine gewaltige mechanische Arbeit leistet; da bereits anderweitige Spuren eines besonders regen Stoffwechsels darin entdeckt wurden, als da sind Kreatin[2] in un-

[1] Weiteres über dieses Gift s. in Rosenthal, Ueber Herzgifte. Archiv für Anatomie u. s. w. 1865. S. 601.

[2] Liebig in den Annalen der Chemie und Pharmacie. 1847. Bd. LXII. S. 292; — Chemische Untersuchung über das Fleisch u. s. w. S. 36. 37.

gewöhnlicher Menge, Inosit, Hypoxanthin;[1] da, [320] wie ich bemerkt habe, Braconnot's Analyse des Ochsenherzens von Berzelius' Analyse anderer Muskeln desselben Thieres hinsichtlich des Verhältnisses des alkoholischen und wässrigen Auszuges in dem Sinne abweicht,[2] wie es nach den Beobachtungen des Hrn. Helmholtz[3] zu erwarten stand; endlich da schon 1828 Hr. C. Aug. Sigm. Schultze das Herz unter allen Muskeln am stärksten sauer gefunden zu haben glaubte:[4] so versuchte ich, ob vielleicht das noch leistungsfähige Herz saure Reaction zeigen würde. Beim Frosch, der Taube, dem Ochsen, Kaninchen und Meerschweinchen traf dies indess nicht zu. Nur dass das Herz, trotz seiner grossen Blutfülle, die ihm stets eine deutliche alkalische Reaction verlieh, früher als andere Muskeln sauer zu werden schien. Hr. Kühne schrieb mir aus Paris, er habe frische Herzen von Hunden und Katzen sauer gefunden, die Hr. Claude Bernard zu seinen Versuchen verwandt hatte. Ich dachte mir, dass diese Herzen vielleicht deshalb sauer gewesen seien, weil sie während der Vivisection vor Angst und Wuth heftiger als sonst geklopft hatten. Ich zerschnitt also einem starken männlichen Kaninchen beide Vagi, um sein Herz in ungewöhnlich heftige Bewegung zu versetzen. Das Thier starb unter den gewöhnlichen Zufällen bereits nach 22 Stunden, als ich gerade anders beschäftigt war. Doch traf ich, als ich sehr kurze Zeit darauf die Brusthöhle öffnete, das Herz noch für mechanischen Reiz empfänglich an. Die Reaction des Herzfleisches war aber die gewöhnliche ziemlich ausgesprochen alkalische.

Die rothen Flecken, welche durch Tetanus gesäuerte Muskeln auf blauem Lakmuspapier machen, sind von dauernder Beschaffenheit, und die Siedhitze vermag über die dergestalt in den Muskeln entwickelte Säure ebenso wenig wie über die auf anderem Wege freigewordene (S. oben S. 19). Die saure Reaction der angestrengten Muskeln rührt folg-

---

[1] Scherer in den Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1850. Bd. LXXIII. S. 322. 328; — Verhandlungen der physikalisch-medicinischen Gesellschaft in Würzburg u. s. w. 1850. Bd. I. S. 51; — Bd. II. 1852. S. 212. 298; — Canstatt's Jahresbericht über die Fortschritte der gesammten Medicin u. s. w. im Jahre 1851. Bd. I. Physiologische Wissenschaften. Würzburg 1852. S. 91. 92.

[2] Die Menge des von Braconnot (Annales de Chimie et de Physique. Août 1821. t. XVII. p. 388) aus dem Ochsenherzen erhaltenen alkoholischen Extractes verhält sich zu der von Berzelius (Lehrbuch der Chemie u. s. w. Bd. IX. Dresden und Leipzig. 1840. S. 588) aus Skeletmuskeln erhaltenen wie 1·078 : 1·000, die Menge des Wasserextractes nach Berzelius' Schätzung (Braconnot selber hatte darauf nicht geachtet) wie 0·143 : 1000.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1845. S. 72.

[4] Systematisches Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. Erste Abth. Allgemeine Anatomie. Berlin 1828. Tabelle I zu S. 135.

lich weder her von der nach Angabe der Hrn. Matteucci[1] und Valentin[2] reichlicher darin entwickelten Kohlensäure, noch von saurem phosphorsaurem Kali. Dass Fleischmilchsäure deren Ursache sei, wird noch dadurch wahrscheinlich gemacht, dass Berzelius, wie er im Jahr 1841 Hrn. Lehmann in Schweden erzählt hat, aus den Muskeln gehetzten Wildes eine auffallend grosse Menge [321] Milchsäure erhielt, während die Muskeln partiell gelähmter Extremitäten ihm weniger als sonst davon zu enthalten schienen.[3]

Ueber die Entstehungsart der Fleischmilchsäure bei der Zusammenziehung wird es weise sein, sich zunächst jeder Muthmassung zu enthalten. Nur die Widerlegung einer Ansicht darüber, welche vielleicht auftauchen könnte, halte ich für zweckmässig.

Wir haben oben den Beweis geführt, dass die Gerinnung des Muskelfaserstoffes unabhängig von der Säurung des Muskels stattfinden könne. Die gegenwärtigen Versuche scheinen nun auch umgekehrt zu zeigen, dass die Säurung des Muskels ohne die Gerinnung des Muskelfaserstoffes stattfinden könne. Es könnte aber der Zweifel ausgesprochen werden, ob wirklich die Säurung des Muskels durch Tetanus von der durch das

---

[1] Recherches sur les Phénomènes physiques et chimiques de la contraction musculaire. Comptes rendus etc. 7 Avril 1856. t. XLII. p. 648; — Gazette médicale de Paris. 3me Série. t. XI. p. 245; — Annales de Chimie et de Physique. Juin 1856. 3me Série. t. XLVII. p. 129; — Archives des Sciences physiques et naturelles. Mai 1856. t. XXXII. p. 22; — The London and Edinburgh Philosophical Magazine etc. June 1856. 4. Series. Vol. XI. p. 461; — The American Journal of Science and Arts etc. September 1856. 2. Series. Vol. XXII. p. 270; — Il nuovo Cimento ec. Tom. III. 1856. p. 24; — Lezioni di Elettro-Fisiologia. Corso dato nell' Università di Pisa nell' anno 1856. Torino 1856. p. XXXV; — Cours d'Électrophysiologie etc. Paris 1858. p. 137.

[2] Wunderlich's Archiv für physiologische Heilkunde. 1857. S. 285. — [Weder Hr. Valentin noch Matteucci haben aber untersucht, ob die Vermehrung des Gasaustausches nicht vielleicht bloss von der mit der Bewegung der zuckenden Muskeln verbundenen Lüftung herrühre. In der lateinischen Darstellung dieser Untersuchung sagte ich deshalb: „Neuter vero acutissimorum virorum exploravisse videtur, quantum ipsae contractiones, quantumque aëris agitatio illis effecta, ad augendum respirationis muscularis effectum in his experimentis valuerint" (p. 33). Hr. Hermann hat seitdem gezeigt, dass, wenigstens was den Sauerstoffverbrauch betrifft, mein Verdacht gegründet war, und dass man durch Schütteln der Präparate ihren Sauerstoffverbrauch noch mehr steigere, als durch Zuckung (Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. Berlin 1867. S. 40.)]

[3] Dies ist, wie mir Hr. Lehmann brieflich mitzutheilen die Güte hatte, der Ursprung der in sein Lehrbuch der physiologischen Chemie (Bd. I. Leipzig 1850. S. 103) aufgenommenen Angabe, („Berzelius glaubt sich überzeugt zu haben, dass ein Muskel desto mehr Milchsäure enthält, je mehr er vorher angestrengt worden ist") welche von dort vermuthlich in Hrn. Ludwig's (Lehrbuch der Physiologie des

Absterben, oder durch die Gerinnung des Muskelfaserstoffes, herbeigeführten wesentlich verschieden sei. Man könnte sagen, dass in Folge der heftigen Muskelanstrengung vielleicht ein Theil der Muskelbündel wirklich absterbe, todtenstarr und sauer werde, während ein anderer allerdings noch leistungsfähig sei. So komme der Anschein der Säurung des noch lebenden Muskels zu Stande. Wenn dann den Muskeln Ruhe gegönnt werde, löse das arterielle Blut die Starre jener abgestorbenen Bündel und wiederbelebe sie, wie in den bekannten Versuchen der Hrn. Brown-Séquard[1] und Stannius.[2]

Diese Meinung ist unhaltbar. Erstens würde es irrig sein, sich die tetanisirten Muskeln, an denen wir saure Reaction nachgewiesen haben, in dem Maass erschöpft vorzustellen, dass einzelne Primitiv- oder secundäre Bündel mit sofortigem Absterben bedroht wären. Ich will nicht läugnen, dass sich dies im Anfang meiner Versuche ein oder das andere Mal zugetragen habe, [322] besonders als ich noch allein am Frosch arbeitete, und zuletzt, um schlagendere Wirkungen zu erhalten, die Muskeln unmittelbar reizte; obschon auch hier, wie gesagt, sogar die zerschnittenen Muskeln nach kurzer Ruhe wieder leistungsfähig erschienen (S. oben S. 27). Allein bei mittelbarer Reizung vom Rückenmark aus, sei's durch den elektrischen Strom, sei's durch Strychnin, ist wirklich von einer so gefahrdrohenden Erschöpfung des Muskels nicht die Rede. Die sauer reagirenden Muskeln z. B. eines durch Strychnin getödteten Kaninchens zucken noch beim Durchschneiden des Nerven, vollends antworten sie noch leicht, kräftig, und, soweit sich dies beurtheilen lässt, in ganzer Ausdehnung auf jeden unmittelbar angebrachten elektrischen, ja mechanischen Reiz. Solche Muskeln erschöpft zu nennen, würde in der That keinen Sinn haben. Uebrigens ist der rothe Fleck, den der Querschnitt eines tetanisirten Kaninchenmuskels auf blauem oder violettem Grunde macht, ganz einfarbig und frei von jeder Einmischung des Grundes, wie sie unstreitig stattfinden würde, wenn die saure Reaction nur einzelnen besonders angestrengten Muskelbündeln zukäme.

Sollte hienach noch ein Zweifel sein daran, dass die Säurung der tetanisirten Muskeln nicht auf diese Art erklärt werden könne, so würde solcher Zweifel vor einer neuerdings von Hrn. Kühne ermittelten wichtigen Thatsache weichen müssen. Hr. Kühne schreibt mir aus Paris vom 5. Februar

---

Menschen. Bd. I. Heidelberg 1852. S. 31; — 2. Aufl. Leipzig und Heidelberg 1858. S. 35) und Hrn. Schlossberger's (Die Chemie der Gewebe u. s. w. Leipzig und Heidelberg 1856. Die kontraktilen Thier-Substanzen. S. 187) Werke übergegangen ist. Berzelius selber scheint jene Beobachtung nirgends veröffentlicht zu haben.'

[1] Comptes rendus etc. 9 Juin 1851. t. XXXII. p. 855.

[2] Vierordt's Archiv für physiologische Heilkunde. Bd. XI. 1852. S. 1.

d. J., es sei ihm gelungen sich auf das bestimmteste zu überzeugen, dass die Lösung der Todtenstarre durch das arterielle Blut in dem Versuch von Brown-Séquard und Stannius nur dann eintrete, wenn die Muskeln nicht bereits in Folge der Erstarrung sauer geworden seien. Damit verliert der hier bekämpfte Einwand gegen unsere Versuche vollends den Boden, da er gerade auf der Möglichkeit fusst, dass die in Folge übermässiger Anstrengung abgestorbenen, erstarrten und gesäuerten Bündel durch das arterielle Blut wiederbelebt würden.

Die Beobachtung des Hrn. Kühne dürfte übrigens eine andere Muthmassung ähnlicher Art in nicht minder bedenklichem Licht erscheinen lassen, zu der man jetzt hier leicht geführt wird. Sie besteht in der Umkehr der bekannten Ansicht, wonach die Todtenstarre eine letzte dauernde Zusammenziehung [323] sein sollte. Es würde nämlich danach vielmehr jede Zusammenziehung mit einer Gerinnung einer gewissen Menge flüssigen Muskelfaserstoffes verknüpft sein, welche ihrerseits nicht ohne Säurebildung einherschreiten würde, wobei man noch der die Zusammenziehung begleitenden Temperaturerhöhung einen begünstigenden Einfluss zuschreiben könnte, welche in den eigentlichen Heerden des Molecularvorganges ja eine viel beträchtlichere sein mag, als sie für die Gesammtheit der Muskelmasse sich darstellt. Auch diese Hypothese würde zuletzt nothwendig der Auflösbarkeit des bereits gesäuerten Gerinnsels durch das arterielle Blut bedürfen, und also, wenn man nicht noch weitere Vermuthungen hinzufügen will, gleichfalls durch jene Beobachtung beseitigt sein.

Leichter als von der Entstehung der Säure bei der Zusammenziehung, wird man wohl dazu gelangen sich einen Begriff zu machen von den Schicksalen, denen die einmal gebildete Säure unterliegt. Wir haben gesehen, dass die Säure sehr bald wieder unmerklich wird. Das natürlichste ist wohl, sich zu denken, dass das alkalische Blut die Säure aus den Primitivbündeln in Gestalt fleischmilchsauren Natrons auswasche, während Kohlensäure frei werde. Ob das fleischmilchsaure Natron im Blute zu kohlensaurem Natron und anderen Producten verbrannt werde, oder ob es als solches im Harn erscheinen könne, ist eine Frage, die zu weiteren Untersuchungen auffordert. Obschon von den Chemikern die Gegenwart milchsaurer Salze und freier Milchsäure im Harne heut im Allgemeinen bezweifelt wird,[1] scheint es doch beachtenswerth, dass einst Hr. Lehmann die Menge der von ihm als Milchsäure angesproche-

[1] Heintz, Lehrbuch der Zoochemie. Berlin 1853. S. 251. 879. 884; — Neubauer und Vogel, Anleitung zur qualitativen und quantitativen Analyse des Harns u. s. w. 2. Aufl. Wiesbaden 1856. S. 39.

nen Substanz im Harn nach körperlichen Anstrengungen vermehrt gefunden hatte.[1]

Der Säurung der Muskeln bei heftigen Krämpfen wegen ist es rathsam, wenn man bei warmblütigen Thieren sich von der neutralen, beziehlich alkalischen Reaction der ruhigen Muskeln überzeugen will, die Thiere mit Curara zu vergiften. In der That gelang es mir nur durch diesen Kunstgriff, beim Huhne, welches geköpft erst nach unendlichem Geflatter stirbt, die Muskeln neutral zu finden, da sie sonst eine mehr oder weniger [324] entschieden säuerliche Reaction anzunehmen pflegen. Hierin liegt ein neuer Erklärungsgrund dafür, dass die Chemiker über die Reaction der frischen Muskeln so lange haben können in Täuschung befangen sein. Es ist denkbar, dass dieser oder jener in der That Versuche am frischgetödteten Thier angestellt und die Muskeln, wegen der meist den Todeskampf begleitenden Krämpfe, sauer angetroffen habe. So ist es jetzt auch denkbar, dass die von Hrn. Siegmund beobachtete saure Beschaffenheit des Uterus-Auszuges von den Wehen herrührte, die vor dem Tode stattgefunden hatten.

Schliesslich würde uns übrig bleiben, einen Blick zu werfen auf Hrn. v. Liebig's Hypothese über den Ursprung des Muskelstromes. Da die Muskeln, so lange sie einen elektrischen Strom entwickeln, keine Säure in ihrem Inneren enthalten, so versteht es sich von selber, dass in dem Sinne, wie Hr. v. Liebig es wollte, von seiner Hypothese die Rede nicht mehr sein kann; um so mehr, als ich mich überzeugt habe, dass Nerven und Muskeln eines mit Zuckerwasser ausgespritzten Froschbeines alle gewohnten elektrischen Wirkungen zeigen. Nichtsdestoweniger knüpfen sich an eine genauere Erwägung dieses Gegenstandes mancherlei nicht unwichtige Fragen, die ich bei einer späteren Gelegenheit und in einer besonderen Abhandlung zu erörtern gedenke.[2]

---

[1] Artikel: „Harn“ in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. II. Braunschweig 1844. S. 21; — Fortsetzung von L. Gmelin's Handbuch der Chemie u. s. w. Heidelberg 1857. Bd. VIII. Abth. II. S. 338. [In Hrn. Richard Klüpfel's an sich selber angestellten Versuchen stieg der absolute Säuregehalt der täglichen Harnmenge an einem Arbeitstag gegenüber einem Ruhetage durchschnittlich um 44·8 % (Ueber die Acidität des Harns bei Ruhe und bei Arbeit. In Hoppe-Seyler's Medicinisch-chemischen Untersuchungen aus dem Laboratorium für angewandte Chemie zu Tübingen. Berlin 1866. S. 413.)]

[2] S. die Anmerkung am Schlusse des Anhangs.

## Anhang.

Einer geringschätzenden Beurtheilung meiner Arbeit über Muskelsäure gegenüber that ich kurz nach deren Erscheinen den Ausspruch: „Von der gründlichen Beseitigung des Irrthums, dass die freie Milchsäure „schon im lebenden Muskel vorhanden sei, werde die Zukunft den Anfang „einer physiologischen Muskelchemie herschreiben.“ (Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 853.) Dieser Ausspruch, welcher damals anmaassend erscheinen konnte, hat sich so verwirklicht, dass es, ohne die mir hier gesteckten Grenzen zu überschreiten, unmöglich wäre, eine Uebersicht über die seitherige Entwickelung des Gegenstandes zu geben. Es genüge der Hinweis, dass, abgesehen von den zunächst nur den Thatbestand sichernden und erweiternden Arbeiten von Borszcsow (Nachweisung der Milchsäure als normalen Bestandtheiles der lebenden Muskelfaser u. s. w. Würzburg 1861) und Heidenhain (S. oben S. 9 Anm.), und von der Ausdehnung der Untersuchung auf die Nerven durch Funke (Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 835), an welche letztere eine ganze Literatur sich knüpft (Vergl. Gscheidlen in Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie, Bd. VIII. 1874 S. 171), die Untersuchungen Kühne's, Hermann's, Ranke's und Roeber's über die Muskeln zu einem guten Theil auf dem hier gewonnenen, zwar kleinen, aber sicheren Stück festen wissenschaftlichen Bodens wurzeln.

Dagegen halte ich es im Interesse der Vollständigkeit dieser Sammlung für geboten, den Schlussparagraphen der oben S. 1 Anm. erwähnten lateinischen Schrift hier noch abzudrucken. Er enthält nicht unwichtige Thatsachen, auf welche ich mich später beziehe, und von denen der letzte Absatz der deutschen Abhandlung nur eine Andeutung giebt.

[41] §. XV.

### REACTIO MUSCULORUM EMORTUORUM ACIDA AD FACULTATEM EORUM, DUM VIVUNT, ELECTROMOTIVAM EXPLICANDAM NIHIL VALET.

Restat, ut Jll[i] Liebig aliorumque sententiam accuratius recenseamus, acidi muscularis atque alkali sanguinis commixtionem fontem esse fluminis musculorum galvanici.

[42] Ad comprobandam illam Ill[s] Liebig Cl[m] Buff ad hoc experimentum perficiendum incitavit: Cl[s] Buff columnam ad instar columnae Voltaïcae construxit e stratis alternantibus coactilis [„Filz“] sanguine rigati, carnis muscularis atque substantiae cerebralis, quae reac-

tionem alkalinam valde debilem praebebat. Quae columna, quum ope laminarum e platino confectarum cum multiplicatore electro-magnetico connecteretur, acum non parum declinasse dicitur, eo quidem sensu, ut flumen indicaretur a sanguine ad carnem directum; utrum in columna, an in multiplicatore, in dubio relinquitur. Quum loco substantiae cerebralis aqua adhiberetur, actio valde debilitata est. Caeterum stratuum ordo atque numerus accuratius non definiuntur, nec discimus, an laminae platineae in utraque columnae extremitate eandem substantiam tangerent, necne.[1]

Experimentum Liebigianum non est novum. Etenim iam anno 1803 Lagrave Lutetiae columnam ad instar columnae Voltaïcae e coactili, carne musculari ac substantia cerebrali erexit atque eius efficaciam ope ranae ad Galvanii modum paratae exploravit.[2] Cuius experimentum certe adeo minus perfectum Liebigiano. Ranae ope fluminis directio determinari vix potuit, neque constat quidem, contractiones ranae, quae inter claudendum atque aperiendum circulum ortae sunt, non e flumine ranae proprio, sed columnae, pependisse.

Quae quomodocumque se habeant, experimentum Liebigianum ad comprobandum eius theoriam certe nihil valet, quum vivi quietique musculi fasciculos acidum liberum vix continere iam a nobis demonstratum sit.

Cui addam, musculos aqua saccharina repletos omnes effectus electricos solitos non minus praestare quam musculos sanguine adhuc praeditos. Flumen nempe musculi gastrocnemii incolumis, variationem eius negativam inter contractionem, flumen musculi adductoris magni atque nervi ischiadici transverse sectorum in rana, cuius sanguinem aqua saccharina depuleram, quam pulcherrime observavi. Quumque ranae unum tantum pedem, ligata arteria iliaca communi alterius lateris, a bulbo aortae aqua saccharina implevissem atque utrumque adductorem magnum eo, quem in libro descripsi,[4] modo in circulo multiplicatoris collocassem, ita ut [43] flumina eorum sibi invicem obviam irent, in quatuor experimentis ter musculus exsanguis victor evasit: casu fortasse, fortasse vero quia aqua saccharina flumini galvanico magis quam sanguis resistit, liquor autem in vasis sanguineis contentus flumen in circulo multiplicatoris, propter alteram, quam ei offert, qua meet, viam, eo magis debilitare debet, quo melius electricitatem conducat.

---

[1] Annalen der Chemie und Pharmacie u. s. w. 1847. Bd. LXII. S. 339. Anm.; — Chemische Untersuchung über das Fleisch u. s. w. S. 83.

[2] Gilbert's Annalen der Physik. 1803. Bd. XIV. S. 230.

[3] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 483.

[4] Ebendas. S. 633. 698. 709.

Quod superest, quum Liebigianum tentamen supra descriptum in melius mutare studens, bovis musculi, rigore acidi facti, atque tendinis partem inter multiplicatoris pulvilla terminalia („Bäusche“), solutione natri hydrochlorici rigata, collocassem, flumen certe galvanicum ortum est, et quidem ab alkali per multiplicatorem ad acidum directum, sicut ad explicandum flumen musculi requireretur. Quum vero huic flumini in eodem circulo ipsum flumen musculi transverse secti opponerem, pariter inter pulvilla solutione natri hydrochlorici rigata collocati, flumen musculi illud flumen incredibili modo superavit, ita ut quam luculentissime pateret, differentiam electrochemicam acidi in musculis rigentibus contenti atque alkali sanguinis aut lymphae ad explicandum flumen musculi nihil pollere.

Sic Liebigianae theoriae fundamentum plane sublatum est, nec amplius eo, quo Liebig et alii voluerant, sensu eam defendi posse, iam satis constat. Verumtamen etiam in musculo vivo leve observavimus sectionum electrice heterogenearum discrimen chemicum, quum sectionem longitudinalem cum naturalem tum artificialem reactione manifeste alkalina, sectionem vero transversam artificialem reactione neutrali, interdum modo ad alkalinam vergente, instructas invenerimus. Quod discrimen ad gignendum flumen musculi certe nihil valet, quum discrimen valde maius inter acidum musculorum rigentium atque alkali lymphae ad illud non sufficere invenerimus. Tamen utrum ad fluminis musculi intensitatem augendam aut minuendam aliquid conferat, et utrum acidum inter contractionem liberatum in variatione fluminis musculi pariter inter contractionem observata, quam vocare soleo, negativa efficienda partem aliquid agat, nunc investigandum nobis esset. Hanc vero disquisitionem subtiliorem atque explicatione difficiliorem . . . . . . . alio loco sermone vernaculo expressam publici iuris faciam.[1]

[1] Vergl. die weitere Untersuchung dieses Gegenstandes unten in Abth. XXI. §. VIII.

XVII.

## Ueber facettenförmige Endigung der Muskelbündel.

(Gelesen in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 18. März 1872.)[1]

In der an dunklen Punkten reichen Histologie giebt es wenig Punkte, die so oft besprochen, doch noch so wenig sicher gekannt sind, wie die Verbindung der Muskeln mit den Sehnen. Nicht zum Verwundern, wenn man erwägt, dass kaum zwei Histologen sich finden möchten, die über den Bau der Sehne mit einander einig sind, und kaum einer, der über den Bau des Muskels mit sich selber einig ist, wie am besten daraus erhellt, dass in dem von Hrn. Stricker herausgegebenen Album deutscher Histologen die Muskeln leer ausgingen. Die Grundfragen sind hier bekanntlich, ob Muskelfibrillen, sofern es welche giebt, in Sehnenfasern übergehen, eine Meinung, die wohl kaum noch Anhänger hat; oder ob der Zusammenhang von Muskel und Sehne durch das Sarkolemm vermittelt wird; ob in diesem Falle das Sarkolemm mit der Sehne verschmilzt, oder nur mit ihr verkittet ist. Es ist nicht meine Absicht, mich in den Streit über diese Möglichkeiten einzulassen. Ich will nur eine Frage besprechen, welche ungleich leichter, ja unter allen hier sich darbietenden die leichteste scheint, und über welche dennoch vielfach irrige oder wenigstens unvollständige An- [792] sichten verbreitet sind. Es ist die nach der Gestalt des an die Sehne stossenden Endes des Muskelbündels, oder nach der Form, in der die quergestreifte Substanz an die Sehne grenzt.

Die hierüber fast allgemein verbreitete und überall vorgetragene Meinung ist, dass durchweg die Bündel abgerundet kegelförmig, etwa in Gestalt einer Spitzkugel oder Granate, enden, und dass ihre Enden in entsprechende Grübchen der Sehne eingelassen seien. Ich will diese Vorstellung die von der kegelförmigen Endigung, und die darin vorausgesetzten Bündelenden Muskelkegel nennen. Ich füge mich darin

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1872. S. 791.

dem Brauch, ohne für meinen Theil zu vergessen, dass die zu bezeichnende Gestalt nicht die eines Kegels ist, sondern die des Rotationskörpers, den ein um die senkrechte Mittellinie gedrehter Spitzbogen erzeugt.

Der Keim dieser Vorstellung findet sich bei FONTANA, insofern er Sehnenfasern und Muskelbündel in einander greifen lässt, wie Zähne zweier Zahnräder.[1] Soviel ich ermitteln konnte, hat aber zuerst MASCAGNI die Enden der Muskelbündel kegelförmig abgebildet.[2] Aehnlich sieht man sie dann dargestellt bei FICINUS,[3] TREVIRANUS,[4] GURLT,[5] GERBER,[6] FR. ARNOLD,[7] GÜNTHER,[8] [793] BENDZ,[9] GERLACH,[10] endlich bei KÖLLIKER.[11] E. H. WEBER,[12] VALENTIN[13] und BRUNS[14] beschreiben in demselben Zeitraume die Sache ebenso, HENLE[15] äussert keine eigene Meinung. Seit KÖLLIKER's zusammenfassendem Werke wurden ähnliche

---

[1] Abhandlung über das Viperngift u. s. w. Berlin 1787. 4. S. 388. 389.

[2] Tavole figurate di alcune parti organiche del Corpo umano ec. esposte nel Prodromo della grande Anotomia. Firenze 1819. Fol. Tav. XII. Fig. 5. — Vergl. Prodromo della grande Anotomia ec. p. 102.

[3] De Fibrae muscularis forma et structura. Lipsiae 1836. 4. p. 24. 25. Fig. 36.

[4] Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens. Bd. I. 4. Heft. Bremen 1838. Fig. 59. — TREVIRANUS bildet Muskelbündel aus dem M. quadratus der Nickhaut der Krähe auffallend spitz, d. h. allmählich sich verjüngend, ab.

[5] Lehrbuch der vergleichenden Physiologie der Haus-Säugethiere. Berlin 1837. S. 26. Taf. I. Fig. 14.

[6] Handbuch der allgemeinen Anatomie des Menschen und der Haussäugethiere. Bern und Chur 1840. S. 131. Atlas Fig. 51.

[7] Handbuch der Anatomie des Menschen u. s. w. Bd. I. Freiburg i. Br. 1844. S. 253. Taf. IV. Fig. 8.

[8] Lehrbuch der allgemeinen Physiologie. Bd. I. Leipzig 1845. S. 383. Taf. III. Fig. 3.

[9] Haandbog i den almindelige Anatomie. Kjöbenhavn 1846—47. S. 388. 5. 593. Tab. V. Fig. 11.

[10] Handbuch der allgemeinen und speciellen Gewebelehre u. s. w. Mainz 1848. S. 111. Fig. 43.

[11] Mikroskopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen. Bd. II. Leipzig 1850. S. 219. Fig. 63. — Dieselbe Figur kehrt in allen Auflagen des 'Handbuches der Gewebelehre' wieder.

[12] In der von ihm besorgten 4. Ausg. von HILDEBRANDT's Handbuch der Anatomie des Menschen. 1833. Bd. I. S. 381.

[13] Nova Acta . . . Naturae Curiosorum. Vol. VIII. I. Vratislaviae et Bonnae 1836. 4. p. 118. Anm. 2; — Artikel: 'Gewebe des menschlichen und thierischen Körpers' in RUD. WAGNER's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. Braunschweig 1842. S. 714.

[14] Lehrbuch der allgemeinen Anatomie des Menschen. Braunschweig 1841. S. 332. Anm.

[15] Allgemeine Anatomie u. s. w. Leipzig 1841. S. 592.

Angaben wiederholt von Rollett,[1] Leydig,[2] Haeckel,[3] v. Biesiadecki und Herzig,[4] v. Wittich,[5] Baur[6] und Kühne.[7]

[794] Neuerlich hat Hr. Victor Hensen mit besonderem Nachdruck allen Muskeln, „seien sie aus einem gefiederten oder ungefiederten Muskel ge„nommen, seien sie vom Säugethier oder vom Frosch“, kegelförmige Enden zugeschrieben, und diese aus dem Triceps femoris des Frosches abgebildet.[8]

Hr. Hensen hat dieser Lehre grosse Wichtigkeit für die Theorie des Muskelstromes beigelegt. Auf sie gestützt leugnet er, dass es natürlichen Querschnitt der Muskeln in dem Sinne gebe, in welchem ich diesen Ausdruck gebrauche. „Man kann mit Recht fragen, wo ein „natürlicher Querschnitt sich finde, denn wie man schon an der Zeich„nung, noch auffallender aber an den Präparaten sieht, tritt stets nur die „neutrale Kante der Querscheibe zu Tage, ihre Fläche spielt bei „der Endigung gar keine Rolle. Theoretisch musste man allerdings „ein terrassenförmiges Abnehmen der Querstreifen erwarten, jedoch sie „folgen einander so dicht und ihr Durchmesser nimmt selbst an scharf „sich zuspitzenden Fasern[9] so allmählig ab, dass man an dem intacten „Ende durchaus nichts von Terrassen sieht und selbst an der äussersten „Spitze tritt meistens keine Fläche zu Tage, die erheblich breiter wäre als „die Querscheibe dick ist.“

Indem er übrigens die Hypothese elektromotorischer Molekeln zu Grunde legt, führt Hr. Hensen aus, wie seiner Meinung nach in Folge jener Anordnung die Muskelkegel neutral sich verhalten müssten, und

---

[1] Sitzungsberichte der Wiener Akademie. 1856. Bd. XXI. S. 176.

[2] Lehrbuch der Histologie. Frankfurt a. M. 1857. S. 130. 131. Fig. 65. 66.

[3] De telis quibusdam Astaci fluviatilis. Berolini 1857. p. 47. Tab. II. Fig. 13.

[4] Sitzungsberichte der Wiener Akademie. 1859. Bd. XXXIII. S. 146 (Unter anderen aus dem Gastroknemius des Frosches). — Auch in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Jahrg. 1859. Giessen 1860. Bd. VI. S. 105.

[5] Königsberger Medicinische Jahrbücher u. s. w. 1862. Bd. III. S. 47: „Die Untersuchung lehrte ..., dass alle Muskelprimitivbündel conisch zugehen, und zwar bald mit stark abgerundeter, bald mit mehr oder weniger fein ausgezogener, bald einfacher, bald mehrfacher Spitze.“

[6] Archiv für Anatomie u. s. w. 1860. S. 129. (Kiefermuskel des Flusskrebses.)

[7] Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven. Leipzig 1862. 4. S. 14. (Am Froschsartorius.)

[8] Arbeiten aus dem Kieler physiologischen Institut 1868. Kiel 1869. S. 18.

[9] Die Worte: „selbst an scharf sich zuspitzenden Fasern“ sind insofern dunkel, als man gerade umgekehrt meinen sollte, je schärfer die Spitze, um so unmerklicher die Terrassen.

er sieht hierin eine Erklärung für die Stufe der Parelektronomie, bei welcher der natürliche Querschnitt neutral zum Längsschnitt ist. Wie Hrn. Hermann, aber aus anderem Grunde, erscheint ihm diese Stufe der Parelektronomie somit als der natürliche und normale Zustand des Muskels. Um zu erklären, weshalb dennoch die Sehne fast stets mehr oder weniger negativ gegen Längsschnitt angetroffen werde, macht Hr. Hensen die Hypothese, dass der Muskel an dieser Stelle sehr verletzbar sei; und um diese örtlich grössere Verletzbarkeit zu erklären, die weitere Hypothese, dass der Muskel an seinen Enden eben erst gebildet, noch unvoll-
[795] endet sei. Hr. Hensen deducirt, dass das Längenwachsthum des Muskels durch Ansatz contractiler Substanz am Bündelende geschehen müsse, erbringt aber dafür keinen thatsächlichen Beweis. Ihm so wenig wie Anderen ist bisher geglückt, an den Faserenden etwas Besonderes zu bemerken. „Selbst dann", wie ich vor Kurzem anderswo mich ausdrückte, „wäre noch viel zu thun, um zu beweisen, dass die bemerkte Besonderheit „vom Wachsen der Bündel an ihren Enden herrühre, dass deshalb die „Bündel dort verletzbarer seien, und dass dies die von mir der parelektro- „nomischen Schicht zugeschriebenen Erscheinungen erkläre."[1]

In der That, bis nicht gezeigt wäre, dass jene Besonderheit wirklich auf Wachsthum zu beziehen sei, dürfte vielleicht mit gleichem Recht ich sie als den optischen Ausdruck der parelektronomischen Schicht ansprechen, nach welchem ich seit Jahren suche. Wäre sie aber auch zum Wachsthum in Beziehung gebracht, so bliebe noch die Möglichkeit zu widerlegen, dass eine Schicht junger contractiler Substanz die elektromotorischen Eigenschaften besitzt, die ich meiner parelektronomischen Schicht zuschreibe. Die grössere Verletzbarkeit junger Substanz müsste aus anderen Gründen erwiesen werden, als aus den Thatsachen, die durch diese grössere Verletzbarkeit erklärt werden sollen. A. a. O. habe ich aber bereits an eine physiologische Erfahrung erinnert, welche mir mit der Annahme besonderer Verletzbarkeit der Bündelenden unverträglich scheint, an das längere Ueberleben nämlich kurzfaseriger dicker Muskeln mit ausgedehnten Sehnenspiegeln im Vergleich zu langfaserigen dünnen Muskeln gleicher Masse [Vergl. oben S. 10. Anm. 2.]. „Es ist wohl „im Gegentheil klar:" — schloss ich — „eine Begrenzung, deren vergleichsweise grössere Ausdehnung an der Oberfläche des Muskels diesem „längeres Ueberleben sichert, kann nicht für ihn die Todespforte, die „*Pars minoris resistentiae* sein."

Wäre die grössere Verletzbarkeit junger Substanz Ursache der so häufig ohne äusseren Grund vorhandenen Negativität der Sehne, so

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1871. S. 603. — (S. unten Abh. XXIV. §. X.)

müsste diese Negativität bei älteren Thieren seltener vorkommen, bei erwachsenen ganz fehlen. Kälte müsste die Verletzbarkeit herabsetzen, nicht allein während der Temperaturerniedrigung, was allenfalls verständlich wäre, sondern auch weit über deren Dauer hinaus, wobei sich nichts denken lässt.

[796] Uebrigens giebt Hr. Hensen selber zu, dass er für die häufig vorhandene Positivität der Sehne gegen Längsschnitt keine solche morphologische Erklärung weiss, wie er sie für die Neutralität der Sehne zu besitzen glaubt. Um so weniger genügt seine Deutung der Thatsache, dass Sartorius und Cutaneus femoris statt einer parelektronomischen Schicht, eine parelektronomische Strecke zeigen.[1] Er will dies so erklären, dass in diesen Muskeln die „Faserenden sich über eine gewisse „Länge des Sehnenanfangs hin verstreuen, während im Gastrocnemius sie „tiefer im Muskel nicht mehr sich finden, also wirklich in einer Fläche „liegen." Meint Hr. Hensen, dass bei schrägem Ansatz der Sehne an den Muskel, wie am unteren Ende des Sartorius, der senkrechte künstliche Querschnitt einen Theil des schrägen natürlichen Querschnittes übrig gelassen habe, oder meint er, dass im Sartorius und Cutaneus einige Bündel, ohne die Sehne zu erreichen, auf die von Hrn. Rollett beschriebene Art enden und unangeschnitten unter dem senkrechten künstlichen Querschnitt liegen bleiben? In keinem von beiden Fällen träfe seine Voraussetzung zu. Die Beobachtungen über die parelektronomische Strecke am oberen Ende des Sartorius und an beiden Enden des Cutaneus sind von dem Fehler frei, den die erste Deutung ihnen zur Last legen würde. Der zweiten Deutung stehen Hrn. Weismann's,[2] Hrn. Aeby's,[3] und Hrn. Kühne's[4] Beobachtungen entgegen, nach welchen die Rollett'sche Endigungsweise der Fasern im Sartorius des Frosches viel zu selten ist, um sie zur Erklärung einer so gewöhnlichen und ansehnlichen Erscheinung, wie die der parelektronomischen Strecke, zu verwenden. Aber auch wenn Hrn. Hensen's Voraussetzungen richtig wären, könnte stehengebliebener neutraler natürlicher Querschnitt (im ersten Falle) den künstlichen Querschnitt nicht [797] positiv gegen Längsschnitt machen, und ebenso wenig könnte dies (im zweiten Falle) die Wirkung

---

[1] Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w. Im Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 685 ff. (S. unten Abh. XVIII. §. XI); — Ueber die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes u. s. w. Ebenda. 1867. S. 264. (S. unten Abh. XX. §. IV.)

[2] Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 3. Reihe. 1861. Bd. X. S. 269; — Bd. XII. S. 128.

[3] Ebenda. Bd. XIV. 1862. S. 198.

[4] Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven. Leipzig 1862. 4. S. 14. Anm.

neutraler, unter dem künstlichen Querschnitt verborgener natürlicher Bündelenden sein.

Ich muss aber auch ferner Hrn. Hensen's Meinung entgegentreten, dass bei der Molecularhypothese die Muskelkegel sich neutral verhalten würden. Ich setze dabei zweierlei voraus, was aber Hr. Hensen, wenn ich nicht irre, gleichfalls annimmt, nämlich: 1. Die beiden Grundflächen aller Bowman'schen *Discs* (um mich ohne Rücksicht auf die neueren Untersuchungen kurz so auszudrücken) sind gleich stark negativ gegen den neutralen Mantel der sehr niedrigen Cylinder, welche die *Discs* vorstellen; 2. der in der Querstreifung sich aussprechende elementare Bau des Bündels setzt sich unverändert in den Kegel fort, d. h. also, Längsreihen gleich langer und gleich dicker *Sarcous Elements* laufen darin der Bündelaxe parallel, bis sie die concave Wölbung des Sarkolemms schräg treffen.

Gleichviel dann ob die *Discs* eben bleiben oder der Spitze zu concav oder convex oder sonstwie sich biegen, kraft geometrischer Nothwendigkeit, welche etwas anderes und mehr ist, als nur „theoretische Erwartung", müssen am Umfange der Kegel Terrassen entstehen, und dass man sie nicht unterscheidet, liegt an der Schwierigkeit der Beobachtung. Wäre hierfür ein Beweis nöthig, so hätte Hr. Hensen ihn geliefert. In seiner Fig. 6 *A*, in welcher der Abstand der Querstreifen für Froschmuskeln freilich etwas gross erscheint, hat er nicht umhin gekonnt, die von ihm in der Wirklichkeit geleugneten Terrassen abzubilden, und er räumt dies durch die Bemerkung ein, dass die Abwesenheit von Terrassen an den Präparaten auffallender sei, als an der Zeichnung (S. oben S. 40).

Der kleinere *Disc* kann nun aber durch seine negative Spannung die negative Spannung des grösseren *Disc*, auf den er nach der Spitze zu folgt, nicht vollständig aufheben, sondern es bleibt am Rand ein Ring negativer Spannung übrig. Ausserdem wird nach der Spitze zu die negative Spannung nach dem Princip der Neigungsströme sich steigern, wie Hr. Hensen selber in einem Brief an mich ganz richtig vermuthet. Dies folgt unter Anderem aus der Analogie zwischen einem Muskelkegel und dem Kegel, der beim Zurückziehen einer dem künstlichen Querschnitt angelegten Thonspitze durch Kleben des Querschnittes an der Spitze sich [798] bildet.[1] Abgesehen von einer etwa vorhandenen parelektronomischen Schicht wird aus Muskelkegeln zusammengesetzter 'natürlicher Querschnitt' also ebensogut negativ gegen Längsschnitt sein,

---

[1] Monatsberichte der Akademie, 1866. S. 391. 392. Fig. 5, S. 389. — (S. unten Abh. XIX.)

wie künstlicher Querschnitt; in welchem Grade, wird davon abhängen, in welchem Maasse die geringere Negativität des schrägen Querschnittes der Kegel[1] durch die negative Neigungsstrom-Spannung der Spitzen ausgeglichen wird.

Will man von den oben gemachten beiden Voraussetzungen abgehen, so lassen sich natürlich verschiedene elektromotorische und morphologische Anordnungen ersinnen, wobei die Kegel neutral würden. Dies wären aber dann nur andere Arten sich eine parelektronomische Schicht zu denken. Eine einfachere Art, als die ursprünglich von mir vorgeschlagene, wird kaum darunter sein. Die Auseinandersetzung hierüber wäre ohne Abbildungen schwer zu geben, und würde um wesenlose Möglichkeiten sich drehen.

Ich kehre auf den histologischen Standpunkt zurück, von dem wir ausgingen. Nachdem ich gezeigt habe, dass aus kegelförmiger Endigung der Muskelbündel Neutralität des Querschnittes nicht folge, und dass, wenn sie folgte, daraus und aus der Hülfshypothese grösserer Verletzbarkeit der Bündelenden die Parelektronomie sich nicht erkläre: werde ich jetzt zeigen, dass die kegelförmige Endigung wenigstens an mehreren Stellen, wo Hr. Hensen in Uebereinstimmung mit so vielen ausgezeichneten Forschern sie annimmt, und wo er sie gegen meine Lehre verwerthet, nicht vorhanden ist, sondern dass diese Annahme auf einer, übrigens aus zwei Ursachen leicht erklärbaren Täuschung beruht.

Fig. 30.




Die wahre Gestalt der Muskelbündel im Gastroknemius des Frosches ist nämlich die in Fig. 30 schematisch abgebildete, in der beispielsweise *A* das an den Achillesspiegel, *K* das an die innere [799] sehnige Scheidewand, den Kniespiegel,[2] stossende Ende vorstellt. Es versteht sich, dass im Vergleich zu seiner Länge das Bündel viel zu dick gezeichnet ist. In den Flächen der beiden Sehnenspiegel sind die Bündel wie mit dem Messer schräg abgeschnitten (Fig. 31., vom Achillesspiegel, *AA'*). Unter der Sehnenhaut, zu welcher die Achillessehne sich ausbreitet, und an jeder Fläche der sehnigen Scheidewand, liegt eine glatte

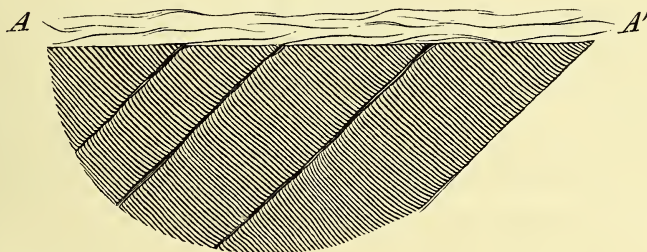
[1] Vergl. Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 560 ff. — (S. unten, Abh. XVIII. §. VI.)

[2] Vergl. ebenda S. 530. 531. 610. (S. unten Abh. XVIII. §. II. IX.) — Den unteren natürlichen Querschnitt des innersten Kopfes des Triceps femoris nenne ich, im Gegensatze zum Kniespiegel, Patellaspiegel.

Mosaik von gestreckt polygonalen Facetten, als den schrägen natürlichen Querschnitten der einzelnen Bündel. Die Querstreifung bleibt bis zur scharfen Kante senkrecht auf die Axe der Bündel, und macht folglich mit dem Sehnenspiegel einen spitzen Winkel, der den spitzen Winkel zwischen Spiegel und Axe zu einem rechten ergänzt.

Die Anordnung ist also, Hrn. HENSEN's Meinung zuwider, an dieser Stelle genau die, von welcher ich bei meinen Betrachtungen stets ausging. In der That habe ich mich von diesem Verhalten schon vor zwanzig Jahren überzeugt, und es auch in meinem Werke so beschrieben und abgebildet, dass ich im Wesentlichen hier nichts hinzuzufügen habe, vielmehr Fig. 31 für eine blosse Wiederholung meiner damaligen Figur gelten kann.[1] Meine Angaben sind aber von den Histologen nicht beachtet worden. Nicht anders ist es Hrn. BOWMAN ergangen, der, wie ich später fand, dies Verhalten im Allgemeinen schon vor mir beschrieben, wenn auch nicht abgebildet hatte. Er schliesst seine Beschreibung der [800] Verbindung zwischen Muskel und Sehne mit den Worten:

Fig. 31.




„*In other cases, where the muscle is fixed obliquely to a membranous surface, each fibre is obliquely truncated at its extremity, at an angle determined by the inclination of its axis, instances of which may be seen in the limbs of Crustacea, and elsewhere.*“[2] Hr. KÖLLIKER hat die ganze Stelle in seiner 'Mikroskopischen Anatomie'[3] übersetzt, da ihm aber, gleich den meisten Untersuchern in diesem Gebiet, und auf seinem Standpunkte mit Recht, mehr auf die eigentlich histologischen Verhältnisse ankam, als auf die Form der Muskelbündelenden, so hat er den

---

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 58. 110. Taf. V. Fig. 144.

[2] TODD und BOWMAN, The Physiological Anatomy and Physiology of Man. London 1840. Vol. I. p. 157; — The Cyclopaedia of Anatomy and Physiology. Vol. III. 1839—1847. p. 513. — Vgl. Philosophical Transactions etc. For the Year 1840. P. II. p. 485.

[3] A. a. O.

diese letzteren betreffenden Schlusssatz Bowman's offenbar weniger berücksichtigt.

Inzwischen haben auch noch andere Beobachter ähnliche Angaben gemacht, wie Hr. Bowman. Vom Kiefermuskel des Krebses sagt Hr. Reichert, dass seine Bündel, wo sie an das Rückenschild befestigt sind, wie durch einen Querschnitt abgeschnitten seien.[1] Hr. Fick sah an Gastroknemien des Frosches, der Maus, des Kaninchens und des Menschen „die einzelnen Fibrillen in einer Ebene oder wenigstens einer „krummen Fläche endigen.“ Es kommt ihm „denkbar vor, dass das“ — bei der Maus und nach Einwirkung von Alkohol beim Frosch zuweilen bemerkte — „unregelmässige Vortreten einzelner Primitivfibrillen gegen „den Sehnenansatz mehr oder weniger Artefact ist, was bei den Säuge- „thiermuskeln wegen der schwierigen Präparation öfter zum Vorschein „kommen muss.“[2] Hr. Weismann endlich konnte bei dieser Untersuchung bereits eines chemischen Mittels zur Isolirung der Muskelbündel sich bedienen. Nach einem Aufenthalt der Muskeln von einer halben Stunde in einer 35procentigen Kalilauge liessen sich die Bündel aus ihrer gegenseitigen Verbindung sowohl als [801] aus der mit der Sehne ohne Zerreissung lösen. Er sagt nun freilich: „Die Enden der von der „inneren Fläche der Sehnenhülse“ — des Achillesspiegels — „abgelösten „Primitivbündel zeigen eine ziemliche Mannigfaltigkeit von Formen, von „der einfachen Abrundung, der mehr oder minder raschen Zuspitzung, „der graden oder schrägen Abstutzung bis zur kolbigen Anschwellung“, womit ich nicht einverstanden bin. Dagegen stellt Hr. Weismann von einem Schmetterlinge zwei Primitivbündel in ihrer natürlichen Nebeneinanderlagerung dar, welche ganz dasselbe Bild gewähren, wie die Gastroknemiusbündel in unserer Fig. 31.[3]

Merkwürdigerweise finde ich gerade seit dieser Zeit, wo die Entdeckung verschiedener Mittel zur Isolirung der Muskelbündel[4] die Beob-

---

[1] Bemerkungen zur vergleichenden Naturforschung im Allgemeinen und vergleichende Beobachtungen über das Bindegewebe u. s. w. Dorpat 1845. S. 78.

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1856. S. 430.

[3] Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. Reihe. Bd. XII. S. 128. 129. — Vergl. auch Guido Wagener im Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 225.

[4] Ausser der von Hrn. Weismann angewandten Kalilösung noch 2. die von Hrn. Franz F. Schulze (Rostock) für phytotomische Zwecke angegebene, von Hrn. Budge erfolgreich auf die Muskeln angewendete Mischung von Salpetersäure mit krystallisirtem chlorsauren Kali (Wunderlich's Archiv für physiologische Heilkunde. 1858. N. F. Bd. II. S. 71; — Moleschott, Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1859. Bd. VI. S. 41; — Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. R. Bd. XI. S. 305; — v. Wittich, Königs-

achtungen gegen früher so sehr erleichterte, in der Literatur keine Angabe mehr über den uns interessirenden Punkt.[1] Der oben S. 40 angeführte Ausspruch eines Forschers wie Hr. HENSEN zeigt aber, dass auch die früheren, nie recht zur allgemeinen Kenntniss durchgedrungenen Angaben vergessen sind; und die Wichtigkeit, welche Hr. HENSEN dieser Angelegenheit für die Lehre vom Muskelstrom gegeben hat, lässt es gerechtfertigt er- [802] scheinen, dass die Aufmerksamkeit der Histologen einmal ausdrücklich darauf gelenkt wird.

Als ich die in meinem Werk enthaltenen Beobachtungen anstellte, dienten mir weder Härtungsmittel, noch die damals unbekannten Mittel zur Isolirung der Muskelbündel. Ich zerriss frische Gastroknemien der Länge nach, und schnitt mit einer feinen COOPER'schen Scheere dünne Scheiben davon ab, die von zwei künstlichen Längsschnitten begrenzt und an einem Theil ihres Umfanges, wie eine Brodschnitte mit der Rinde, mit dem sehnigen Ueberzuge versehen waren. Man gelangt also auch so zum Ziel. Ungleich bequemer ist es natürlich den Muskel passend vorzubereiten. Dies kann auf mannigfache Art geschehen; nur ist dabei stets Eine Vorsichtsmaassregel unerlässlich.

Ein frei sich zusammenziehender Gastroknemius ballt sich zu einem unförmlichen Klumpen zusammen. Erstarrt er in diesem Zustande, so findet man die Axen der Bündel fast senkrecht zum Sehnenspiegel, die Bündel verdickt, und ihre Oberfläche oft stark gerunzelt, letzteres vermuthlich in Folge überwiegender Zusammenziehung benachbarter Bündel. In ihrer Unförmlichkeit nehmen sich die Bündel dann aus wie Elephantenbeine.

Solche Entstellung der Bündel tritt regelmässig ein, wenn die Muskeln, ohne dawider getroffene Vorkehrung, in härtende oder isolirende Flüssigkeiten getaucht werden, und dies ist die eine der beiden Ursachen,

---

berger medicinische Jahrbücher. 1862. Bd. III. S. 46.); 3. mässig concentrirte Salzsäure (AEBY, Zeitschrift für rationelle Medicin. 1862. 3. R. Bd. XIV. S. 182) und 4. Schwefelsäure von bestimmter sehr geringer Concentration (KÜHNE, Ueber die peripherischen Endorgane u. s. w. 1862. S. 11. 12.). Ich habe mich stets der SCHULZE-BUDGE'schen Mischung bedient, und ihr nur zuweilen die Kalilösung vorgezogen, in Fällen nämlich, wo es mir darauf ankam, binnen kurzer Zeit einen Muskel in seine Bündel aufzulösen.

[1] [Seitdem hat Hr. LÉON FREDERICQ in seiner Preisschrift: 'Génération et structure du tissu musculaire' (Bruxelles 1875) in den Figg. 1 u. 2 auf seiner ersten Tafel eine Abbildung der Muskelfaserenden im Gastroknemius des Frosches gegeben, die mich beinah schliessen lässt, dass, obschon er in einer Anmerkung (p. 12) der von mir beschriebenen facettenförmigen Endigung der Muskelbündel gedenkt und auch den Kunstgriff anwendet, den Muskel in gedehntem Zustande zu erhärten, er meine Abhandlung doch nicht gesehen hat.]

welche meiner Meinung nach hier so lange die Erkenntniss der Wahrheit verzögert haben. Hrn. Weismann's kolbig angeschwollene Bündelenden sind sicher nichts als solche zur Elephantenbein-Gestalt verkürzte Bündel. Sollen die Bündel in härtenden oder isolirenden Flüssigkeiten ihre Form bewahren, so muss man sie hindern sich zusammenzuziehen.

Dazu genügt, den ganzen Unterschenkel in die Flüssigkeit zu bringen, insofern dann der Verkürzung eine Schranke gesetzt ist. Man kann auch den Mittelfuss gegen den Unterschenkel gebeugt festbinden; dann ist der Gastroknemius über seine natürliche Länge gedehnt, und die Bündel machen mit den Sehnenspiegeln spitzere Winkel als in der Ruhe. Wünscht man einen Muskel einzeln zu härten oder in seine Bündel aufzulösen, so ist folgendes das beste Verfahren. Man zieht durch ein den Muskel etwas an Länge übertreffendes Stück Thermometerrohr einen dünnen Platindraht, befestigt dessen eines Ende am Muskelkopfe, dem man dazu das untere [803] Ende des Femur lässt, und spannt den Muskel mittels des anderen, durch einen Schlitz in der Achillessehne gesteckten und schleifenförmig umgebogenen Drahtendes sanft an. Bei Erweichung und Auflösung des fibrösen Gewebes und des Knochens reisst der Draht leicht aus, allein dann hat er seinen Dienst geleistet und der Muskel ist längst in passend gedehntem Zustand erstarrt.

Hindert man so oder sonst irgendwie den Muskel sich zusammenzuziehen, so ist übrigens gleichgültig, ob man ihn in dreiviertelprocentiger Kochsalzlösung zur Siedhitze erwärmt und eine Zeitlang kocht, oder ob man eines der bekannten Isolirungsmittel bis zu gewissem Grad auf ihn wirken lässt. Nichts ist leichter als im ersten Falle Schnitte anzufertigen, im zweiten mit der Nadel Gruppen von Bündeln abzulösen, welche genau das in Fig. 31 dargestellte Bild zeigen.

Dagegen gelingen solche Schnitte nur schwer an gefrornen Muskeln, oder wenigstens sie zeigen jenes Bild nur vorübergehend. Sobald der Muskel aufthaut, ziehen sich die Bündel zusammen, und ihre Enden nehmen unter des Beobachters Augen die Gestalt von Elephantenbeinen an. Das Aufthauen aber ist kaum zu vermeiden, weil der Schmelzpunkt des Muskels bei — 5 bis — 6° C. liegt.[1] Unter diese Temperatur also müssen Rasirmesser, Objectträger und Deckgläschen erkaltet sein. Aber sogar als ich bei Winterkälte von — 10° C. das Mikroskop im Freien aufstellte, blieben die Schnitte nicht gefroren, sichtlich weil des Beobachters Hauch, ja strahlende Wärme hinreichen, so kleinen Massen während ihrer Handhabung die zum Aufthauen nöthige Wärme zuzuführen.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 181. — Kühne, Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität. Leipzig 1864. S. 3.

Die Querstreifung ist an den gekochten oder mit den isolirenden Flüssigkeiten behandelten Muskeln nicht stets deutlich zu sehen. Oft sieht man nur Längsstreifung. Aber auch diese leistet was wir hier brauchen. Indem sie zeigt, wie die darauf senkrechte Querstreifung verliefe, wenn sie sichtbar wäre, gewährt sie die Ueberzeugung, dass bis zur Facette der innere Muskelbau geometrisch strenge derselbe bleibt.

[804] Natürlich muss man, um das in Fig. 31 dargestellte Bild zu erhalten, den Schnitt so führen, oder die Bündelgruppe so ablösen, dass an dem auf dem Objectträger gelagerten Präparat die Achilles- oder Kniespiegelebene, in der die Facetten liegen, senkrecht auf den Träger und parallel der optischen Axe sei. Sobald man anders gerichtete Schnitte führt, oder auf's Gerathewohl Bündelgruppen fasst, erhält man ganz andere Bilder. Dann sieht man scheinbar spitzkugel- oder granatenförmige, auch stumpfere Enden der Muskelbündel, oft durch feine Schlitze in mehrere Lappen gespalten, und in den Lücken zwischen den vermeintlichen Muskelkegeln erblickt man Sehnengewebe.

Um diese Bilder richtig zu verstehen, ist jetzt nur nöthig, völlig isolirte Bündel in mannigfaltigen Lagen zu betrachten, wie sie ihnen der Zufall ertheilt, oder, bei schwächerer Vergrösserung, solche Bündel um ihre Axe zu wälzen. Letzteres glückt leicht, indem man das Deckgläschen senkrecht auf die Axe hin und her schiebt; am besten, wenn man die Bündel vorher zerschneidet, und nur ein kurzes, am einen Ende natürlich begrenztes Stück davon zu wälzen sucht. Dann erkennt man, dass die scheinbar granatenförmig endenden Bündel hier solche sind, deren Facette schräg nach unten oder nach oben sieht, und senkrecht auf eine durch die optische Axe und die Bündelaxe gelegte Ebene steht, oder wenigstens um keinen grossen Winkel von dieser Stellung abweicht. Dreht sich die Facette aus der senkrechten, der optischen Axe parallelen Stellung nach oben, so entsteht zunächst die in Fig. 30 an dem Ende *A* sichtbare perspectivische Ansicht. Dabei bemerkt man (nach Behandlung mit Salpetersäure und chlorsaurem Kali) häufig auf der Facette zerstreute Wärzchen oder Knöpfchen von stärkerem Glanz als ihre Umgebung, welche ich nicht sicher zu deuten weiss.

Dreht sich die Facette weiter nach oben, oder dreht sie sich nach unten (Fig. 30, *K*), so entsteht zuletzt der Anschein kegelförmiger Endigung, und es kommen, wo sie vorhanden sind, die schon erwähnten Schlitze zum Vorschein, die sich bei der in Fig. 31 abgebildeten Lage dem Blick entziehen. Dabei sieht man die quergestreifte Substanz nach dem Ende sich zuschärfen, indem die Färbung an Tiefe bis zur Unmerklichkeit abnimmt.

Verfolgt man eine Gruppe von Gastroknemiusbündeln, welche das in

Fig. 31 dargestellte Bild zeigen, ihrer ganzen Länge nach [805] bis an das andere Ende, so findet man fast stets, dass hier die Bündel kegelförmig zu enden scheinen. Dies erklärt sich daraus, dass die Ebene der inneren sehnigen Scheidewand mit einer den Achillesspiegel tangirenden Ebene in den meisten Stellungen letzterer einen grösseren oder kleineren Winkel macht. Auch beim Verfolgen isolirter Bündel von einem Ende zum anderen findet man dasselbe; doch kann Drillung der Bündel um ihre Axe leicht die Facetten aus der Lage bringen, wie man beim Wälzen unversehrter Bündel oder längerer Bruchstücke von Bündeln oft gewahrt.

Da nun unsere Fig. 31 einer ganz bestimmten Art das Präparat anzufertigen entspricht, welche nicht so leicht zufällig sich darbietet, wie die ungleich mannigfaltigeren Lagen, in denen die Enden kegelförmig erscheinen, so versteht man, wie die Meinung entstand, dass letzteres die Gestalt der Gastroknemius-Bündelenden sei. Um so leichter konnte dies geschehen, als anderswo solche Endigung wirklich vorkommt. Dies ist die zweite Ursache, der ich es zuschreibe, dass die Wahrheit hier so lange versteckt oder verkannt blieb. Die Forscher, welche die Muskelbündelenden in den Sehnenspiegeln kegelförmig beschreiben, haben sie in den zahlreichen Lagen zu sehen bekommen, wo dies wirklich ihre Form zu sein scheint, und sie haben die eine Lage übersehen, welche allein geeignet ist, über das wahre Verhalten Aufschluss zu geben.

Dies zeigt sich deutlich in Hrn. Weismann's Fig. 4, wo die contractile Substanz nach dem Ende zu „schichtweise abnimmt; der Rand „ist nur noch eine ganz dünne Platte, auf der aber noch deutlich feine „Querstreifung zu sehen ist“, und in seiner Fig. 8, „wo das Bündel sich „rasch verdünnt und in eine dünne Membran endet, die jedoch noch con„tractile Substanz in feiner Lage enthält, wie die stellenweise Querstrei„fung andeutet.“[1] Wie aus Obigem erhellt, sind diese Beobachtungen ganz richtig. Hätte nur Hr. Weismann die abgebildeten Bündel (namentlich das letztere, das erstere hatte sich wohl zu stark verkürzt) um etwa $90^0$ um ihre Axe gewälzt, sie hätten ihm gewiss den Anblick wie unsere Fig. 31 dargeboten.

[806] Beiläufig enthüllt eine genauere Prüfung von Hrn. Hensen's Fig. 6 *A*, welche zwei Bündel aus dem Triceps des Frosches in ihrem natürlichen Zusammenhange darstellen soll, wenn man sie so auffasst, wie Hr. Hensen selber es will, eine geometrische Unmöglichkeit. Denn wenn, wie hier zu sehen, ein Muskelkegel bis zur Spitze mit der Seitenfläche eines benachbarten Bündels verwachsen ist, so ist unverständlich,

---

[1] Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. R. Bd. XII. S. 142. Taf. IV.

wie die Spitzen mehrerer Kegel in einer ebenen, vollends in einer gegen den Muskel concaven Fläche (der Fläche des Achilles- oder Patellaspiegels) liegen und die Axen der Bündel bis zur Kegelspitze gerade und parallel bleiben können. Daher auch Hr. Hensen schon für nur zwei Bündel die Axe des einen gekrümmt und den sehnigen Ueberzug convex gegen den Muskel vorzustellen sich gezwungen sah. Wo es Muskelkegel giebt, muss das Sehnengewebe sich zwischen sie einsenken, wie es Fontana durch das Bild zweier ineinander greifenden Zahnräder versinnlicht (S. oben S. 41).

Wenn ich oben S. 46. 47 von einer unter der Achillessehnenausbreitung, sowie an jeder Fläche der sehnigen Scheidewand, gelegenen Mosaik gestreckt polygonaler Facetten, als der schrägen natürlichen Querschnitte der einzelnen Bündel, sprach, so war dies, wie ich ausdrücklich zu bemerken nicht versäumen will, nur eine auf berechtigte Schlüsse gegründete Ausdrucksweise, nicht aber das Ergebniss wirklicher Beobachtung. Bei so starker Vergrösserung, wie sie nöthig wäre, und auffallendem Lichte, gelingt es nicht, an der Muskeloberfläche etwas Deutliches zu sehen, wenn auch die Sehnenhaut in eine durchsichtige Gallertschicht verwandelt ist.

Auch die prismatische Gestalt des Muskelbündels in der schematischen Fig. 30 ist natürlich nur Phantasie. Da innerhalb des Muskels der Raum erfüllt ist, und zwar im Wesentlichen durch die Muskelbündel, müssen die Bündel prismatisch sein, und in senkrechten Querscheiben sieht man demgemäss ihren Querschnitt polygonal. In ungestörter Lage und Gestalt können also auch die Facetten nicht elliptisch, sie müssen gestreckt polygonal sein. Sobald aber die Bündel von ihrem gegenseitigen Drucke befreit sind, wird ihr Querschnitt rundlich.

Facettenförmige Endigung der Muskelbündel — so will ich die hier beschriebene Endigungsweise im Gegensatz zur kegelförmigen nennen — scheint in grösserer oder geringerer Ausbildung überall da sich zu finden, wo Froschmuskeln jene atlasglänzenden [807] Sehnenhäute oder -Streife zeigen, an welche Fleischfasern unter spitzem Winkel sich heften, wenn auch nirgends so ausgeprägt, wie am Achilles- und Kniespiegel: also z. B. an beiden Köpfen des Semitendinosus, am Biceps; minder deutlich am unteren Ende des Sartorius. Facettenförmige Endigung fehlt ganz an Stellen, wo die Sehnen nicht von so fester Beschaffenheit sind, wie am oberen Ende des Sartorius, am oberen und unteren Ende des Gracilis, Semimembranosus und Cutaneus. Hier scheint, worauf ich noch zurückkomme, kegelförmige Endigung der Bündel wirklich stattzufinden.[1]

---

[1] [Hr. Hermann hat neuerlich auf die Inscriptio tendinea aufmerksam gemacht, welche in sehr schräger Richtung den Gracilis und den Semimembranosus durchsetzt,

Merkwürdig ist der Bau des Triceps femoris, d. h. seines innersten Kopfes.[1] Im Allgemeinen ist dieser Bau, wie ich seit Beginn meiner Forschungen oft gesagt habe,[2] dem des Gastroknemius sehr ähnlich. Die Endigung der Bündel am Patellaspiegel ist völlig so beschaffen, wie am Achillesspiegel, und die oben S. 47 angeführte Abbildung aus meinen 'Untersuchungen', welche mit unserer Fig. 31 übereinstimmt, stellt sogar ein Präparat von hier vor. Verfolgt man aber isolirte Tricepsbündel ihrer Länge nach aufwärts, so stösst man auf eine unerwartete Abweichung vom Bau des Gastroknemius.

Aeusserlich bemerkt man von dieser Abweichung nichts. Zwar fehlt dem Kopfe des Triceps die Nebensehne, doch ist nicht dies der Punkt, auf den es hier ankommt. Vielmehr verwirklicht gerade dadurch der Triceps das von mir aufgestellte ideale Schema des Gastroknemiusbaues[3] gewissermaassen treuer, als der Gastroknemius selber. Uebrigens sieht man an der Femoralfläche des Triceps einen Sehnenstreif vom Muskelkopfe tief hinabreichen, der die Fläche der Länge nach hälftet, und von welchem das Fleisch seitwärts und nach unten abfällt, gerade wie dies an der Tibialfläche des Gastroknemius der Fall ist. Man sollte meinen, und ich muss bekennen, lange in dieser Täuschung befangen gewesen zu sein, der Sehnenstreif sei der an der Femoralfläche zu Tage tretende Rand einer Scheidewand, welche, wie am Gastroknemius, weit in's Innere des Muskels sich [808] erstreckt, und deren Seitenflächen die Bündel von den entsprechenden Hälften des Patellaspiegels aufnehmen.

Zerreisst man aber den Triceps in der Längsmittelebene, oder macht man Querschnitte durch seinen Bauch, oder kocht man ihn bis das Sehnengewebe zu Leim ward, wodurch am Gastroknemius an Stelle der Scheidewand ein Schlitz sich öffnet:[4] so gelangt man zu der Ueberzeugung, dass die Sache hier sich anders verhält. Im Gegensatz zum Gastroknemius ist am Triceps die Scheidewand zu einem schmalen zarten

---

und beide Muskeln in zwei völlig getrennte Abtheilungen spaltet (Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie. 1875. Bd. X. S. 48. 641; — Vergl. Aeby ebenda, S. 465). Ich kannte diese Inscription, hielt sie aber für oberflächlich, und habe versäumt, die Endigung der Bündel daran zu untersuchen. Man sollte meinen, diese Endigung müsste in derselben Art facettenförmig sein, wie an den sogleich zu besprechenden Ligg. intermuscularia der Fische. Ich fand seitdem noch nicht Zeit, die Richtigkeit dieser Vermuthung zu prüfen.]

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 613. — S. unten, Abh. XVIII. §. IX.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 10.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 529 ff. Fig. 5. Taf. XIV. — S. unten, Abh. XVIII. §. II. S. 70. — Taf. I. zu diesem Bande, Fig. 5.

[4] Vergl. Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 531. — S. unten, Abh. XVIII. §. II. S. 71.

Saume verkümmert, der von dem derben Sehnenstreife der Femoralfläche und der sehnigen Masse am Muskelkopfe nur bis zu geringer Tiefe in den Muskel sich erstreckt. Vergleicht man die doppelte Oberfläche dieser rudimentären Scheidewand mit der Oberfläche des Patellaspiegels, so fällt das Missverhältniss zwischen beiden sofort auf. Man begreift nicht, wo für die vom Spiegel entspringenden Muskelbündel längs der Scheidewand und am Muskelkopfe Platz zur Anheftung sich finden soll, unter der bisher doch allein statthaften Annahme, dass die überwiegende Mehrzahl der Bündel an beiden Enden gleich dick sei.

Sobald ich mit der gröberen Zergliederung des Muskels soweit gelangt war, schloss ich, dass die Tricepsbündel nach ihrem oberen Ende zu durchschnittlich in dem Verhältniss verjüngt sein müssten, in welchem die doppelte Oberfläche der Scheidewand + der Oberfläche der sehnigen Masse am Muskelkopfe kleiner ist, als die Oberfläche des Patellaspiegels; abgesehen von der Möglichkeit, dass ein Theil der Bündel die obere Sehnenausbreitung nicht erreiche, sondern zwischen den sie erreichenden Bündeln spitz auf Rollett'sche Art ende. Die Untersuchung von Muskeln, die mit Salpetersäure und chlorsaurem Kali behandelt worden waren,

Fig. 32.




bestätigte diesen Schluss. Fig. 32 zeigt die ungefähre Gestalt der Tricepsbündel. Das dicke Ende *P* ist das unter spitzem Winkel schräg abgeschnittene, welches an den Patellaspiegel stösst. Die [809] oberen dünnen, mehr oder weniger spitz zulaufenden, oft zerschlitzten Enden (*H*) drängen sich dem Sehnenstreife der Tibialfläche entlang und an der sehnigen Masse des Muskelkopfes zusammen. Natürlich sind auch hier die Bündel im Verhältniss zur Dicke länger, als sie abgebildet werden konnten, um so mehr, als ihre Länge einen grösseren Bruchtheil der Muskellänge beträgt, als am Gastroknemius.[1] Wird während der Härtung der Muskel nicht an der Verkürzung verhindert, so nehmen seine isolirten Bündel, statt der Elephantenbein-Gestalt, welche Gastroknemiusbündel unter diesen Umständen zeigen, nicht selten die Gestalt eines Alphornes an.

Die schematische Gestalt eines gewöhnlichen Skeletmuskels ist, wie

[1] Vergl. ebenda.

schon Steno[1] und Borelli[2] wussten, die eines durch schräge parallele Grundflächen begrenzten Cylinders oder Prisma's. Auf den Triceps femoris passt dies Schema nicht. Insofern er aus gestreckt pyramidalen Bündeln besteht, könnte man, im Gegensatz zu den cylindrischen oder prismatischen Muskeln, ihn als konoïden oder pyramidalen Muskel beschreiben, nur dass an Stelle der Spitze des Kegels oder der Pyramide eine dachähnliche Firste zu denken ist. Aus der von mir aufgestellten schematischen Urgestalt des Gastroknemius entspringt die Triceps-Gestalt, wenn die Excentricität der den oberen natürlichen Querschnitt vorstellenden Ellipse ($\Gamma'\varrho'\Gamma_{,}\varrho_{,}$, s. die angeführte Figur) bei gleichbleibender grosser Axe ausserordentlich zunimmt, so dass die elliptische Fläche zu einem schmalen Streife sich zusammenzieht. Welche Folgen aus diesem sonderbaren Bau für die mechanische Leistung des Muskels sich ergeben, ist nicht leicht zu bestimmen. Gewisse darauf zu beziehende Eigenthümlichkeiten seines elektromotorischen Verhaltens werde ich anderswo besprechen.[3] In geringerem Maasse mag übrigens Aehnliches am Gastroknemius vorkommen. Wenigstens erhält man den Eindruck, als wenn auch hier die doppelte Fläche der Scheidewand dem Achillesspiegel nicht völlig gleichkäme.

[810] Es ist natürlich zu erwarten, dass die Endigung der Bündel in Facetten noch an vielen anderen Stellen in der Thierwelt vorkommen werde. Es wird dies vermuthlich überall da der Fall sein, wo ähnliche Bedingungen, wie am Achilles- und Patellaspiegel, durch derbe, atlasglänzende, die Muskeln weithin umfassende Sehnenhäute gleichsam schon makroskopisch sich verrathen. In der That haben wir schon oben S. 48 Beobachtungen von Hrn. Fick an Gastroknemien der Maus, des Kaninchens und des Menschen kennen gelernt, denen vermuthlich Aehnliches zu Grunde lag. Ich selber habe am M. plantaris des Kaninchens facettenförmige Endigung isolirter Bündel, doch weniger vollkommen als am Achilles- und Kniespiegel vom Frosche, beobachtet.

Das schönste, und wegen seiner grossen Verbreitung zugleich wichtigste Vorkommen facettenförmiger Endigung der Muskelbündel, welches meines Wissens noch nie beschrieben und nur von mir früher einmal[4]

---

[1] Nicolai Stenonis Elementorum Myologiae Specimen etc. Amstelod. 1669. p. 10. 11.

[2] De Motu Animalium etc. Napoli 1734. 4. p. 4. 5.

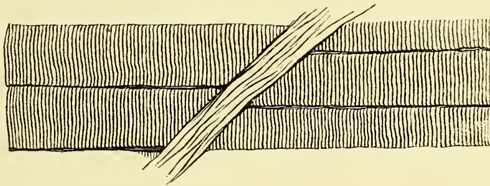
[3] [Dies ist geschehen in der ersten Abtheilung meiner Abhandlung: „Ueber die negative Schwankung u. s. w.“ im Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 556 ff. — S. unten Abh. XXV. §. V.]

[4] Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 530. 588. — S. unten Abh. XVIII. §. II. S. 70. VIII.

angedeutet wurde, bieten aber die Seitenrumpfmuskeln der Fische dar. Diese zerfallen bekanntlich durch schräg gegen die Axe der Bündel gestellte sehnige Scheidewände, die sogenannten Ligg. intermuscularia, in zahlreiche Abtheilungen, deren quere Ausdehnung ihre Länge weit übertrifft.[1] Daher am länger gekochten Fisch, wo das Sehnengewebe zu Leim ward, diese Muskeln in Schalen sich blättern, die durch parallele Flächen verwickelter Krümmung begrenzt sind. An der Körperoberfläche, nach Entfernung der Cutis, sieht man, jedem Wirbel entsprechend, eine zickzackförmige Inscriptio tendinea von verschwindender Länge als den zu Tage tretenden Rand eines Lig. intermusculare verlaufen.

[811] Härtet man einen kleinen Fisch durch Kochen oder Alkohol, und verfertigt man mit dem Rasirmesser sagittale Schnitte der Seitenrumpfmuskeln, so erhält man, wo ein Lig. intermusculare das Gesichtsfeld durchzieht, das in Fig. 33 sichtbare Bild. Die Bündel stossen von beiden Seiten her mit ihren Facetten an die sehnige Scheidewand, und die Querstreifung lässt sich bis in das äusserste Ende der Bündel ver-

Fig. 33.



folgen, bis zuletzt senkrecht auf die Bündelaxe, und folglich gegen die Scheidewand unter einem Winkel geneigt, der den Winkel zwischen ihr und der Axe zu einem rechten ergänzt.

Dasselbe Verhalten, wie an den Seitenrumpfmuskeln der Fische, erinnere ich mich ohne alle Präparation am Schwanze von Froschlarven gesehen zu haben, bin jedoch gegenwärtig nicht in der Lage, die Beobachtung zu wiederholen. Es scheint überhaupt nicht zweifelhaft, dass dies Verhalten im Wirbelthierreich überall da wiederkehren werde, wo das System der Seitenrumpfmuskeln ausgebildet ist, also bei den Salamandrinen und Perennibranchiaten, wie auch am Schwanze der Reptilien und Säuger.

---

[1] Abgesehen von Meckel und Cuvier vergl. Joh. Müller, Vergleichende Anatomie der Myxinoiden u. s. w. Abhandlungen der phys.-math. Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Aus dem Jahre 1834. Berlin 1836. 4. S. 289 ff.; — v. Siebold und Stannius, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. Berlin 1846. Th. II. S. 51. 476; — Gegenbauer, Grundzüge der vergleichenden Anatomie. Leipzig 1870. S. 707.

Dass facettenförmige Endigung der Muskelbündel auch bei Wirbellosen nicht fehle, geht bereits aus Hrn. Bowman's und Hrn. Weismann's Angaben hervor (S. oben S. 47. 48.). Hrn. Reichert's Beobachtung (S. ebenda) dagegen scheint insofern auf eine etwas andere Endigungsart sich zu beziehen, als es bei ihm nicht um einen schrägen, sondern um einen nahe senkrechten Querschnitt der Bündel sich handelt.[1] Diese Art der Endigung habe ich auch an Thoraxmuskeln der Libelle beobachtet, und sie ist in der Arthropodenwelt wohl sehr verbreitet.

Die Oberschenkel der Heuschrecken haben äusserlich eine gewisse Aehnlichkeit mit dem Unterschenkel des Frosches, und sie wur- [812] den von Bayley als Surrogat der Froschschenkel bei galvanischen Versuchen empfohlen.[2] Ein Sehnenspiegel, entsprechend dem Achillesspiegel, ist jedoch daran nicht vorhanden, sondern die oben vom Hautskelet entspringenden Bündel heften sich unten an eine in den Muskel eindringende Chitinsehne.[3] Diese Anheftung geschieht mit Facetten, an denen, im Gegensatz zu den Facetten der Gastroknemiusbündel vom Frosch, ihre viel grössere Neigung gegen die Bündelaxe auffällt. Auch in Hrn. Weismann's Abbildungen vom Schmetterling machen die Facetten einen sehr spitzen Winkel mit der Axe.

Vielleicht beruht dies darauf, dass der Winkel, unter dem die Bündel in der Natur schräg abgeschnitten vorkommen, unter übrigens gleichen Umständen durch die Breite der Querstreifen bedingt ist. Der Abstand der Querstreifen heisse $q$, der Durchmesser der Fibrillen $f$. Die Facette ist als aus Stufen bestehend zu denken, deren „Steigung“ proportional ist der Zahl $n$ der dadurch umfassten Querstreifen, und deren „Auftritt“ proportional ist der Zahl $n'$ der darin eingehenden Fibrillen. Der spitze Winkel $\gamma$, den die Facette mit der Axe macht, wird dann bestimmt durch

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{n' f}{n q}.$$

Wäre das Verhältniss $n' : n$ bei allen Thieren dasselbe, und schwankte von Thier zu Thier $f$ viel weniger als $q$, so würde bei einer bestimmten Thierart Winkel $\gamma$ um so mehr einem rechten sich nähern, je feiner

[1] Vergl. Baur's Abbildung des Kiefermuskels des Krebses im Archiv für Anatomie u. s. w. 1860. Taf. II. Fig. 1.

[2] Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Juillet 1837. t. X. p. 182. 6.

[3] Vergl. die allgemeine Beschreibung der Muskeln der Insecten-Extremitäten bei v. Siebold und Stannius, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie. Berlin 1846. Th. I. S. 562.

die Querstreifung. Aus dem Abstande der Querstreifen und dem Durchmesser der Fibrillen liesse die Neigung der Sehnenspiegel gegen die daran sich heftenden Fleischbündel für eine bestimmte Thierart sich berechnen.

Es muss indess bemerkt werden, dass das Verhältniss $n' : n$ selbst bei einem und demselben Thiere kein aus inneren Gründen unveränderliches sein kann, wie ja wohl denkbar gewesen wäre. Dies folgt daraus, dass ausser der facettenförmigen Endi- [813] gung der Muskelbündel die kegelförmige und die von Rollett entdeckte Endigung ebenfalls vorkommen. Damit aber ein rundliches oder mehr oder weniger zugespitztes Muskelbündelende möglich sei, muss nach Bedürfniss die Steigung der Stufen mehr oder weniger Querstreifen, und ihr Auftritt mehr oder weniger Fibrillen umfassen können.

Im Vorigen habe ich wiederholt das Dasein kegelförmiger Muskelbündelenden erwähnt. Schliesslich muss ich jedoch diese Aussage noch bedingen. Ich habe damit zunächst nur das Vorkommen solcher Bilder gemeint, welche bisher stets auf Muskelkegel gedeutet wurden, denen aber nicht, wie am Gastroknemius und Triceps, in bestimmter Weise gelagerte facettenförmige Enden zu Grunde liegen. Daraus folgt noch nicht, dass diese Bilder als optische Durchschnitte von Kegeln aufzufassen sind. Hätte man es nämlich mit wirklichen Muskelkegeln im oben S. 40 festgestellten Sinne, d. h. mit spitzkugel- oder granatenförmiger Endigung der Muskelbündel zu thun, so müssten alle durch die Bündelaxe gehenden optischen Durchschnitte des Kegels sich gleichen. Diese Probe hat von denen, welche die Lehre von den Muskelkegeln aufstellten, meines Wissens keiner gemacht. Ich dagegen habe, um zu erfahren, ob hinter scheinbaren Kegeln facettenförmige Endigung sich berge, häufig solche Gestalten in der oben S. 51 angegebenen Art um die Axe gewälzt, und dabei nur selten wahre Muskelkegel gesehen. Unstreitig in weitaus den meisten Fällen sind die Enden spatel- oder meisselförmig zugeschärft, oft auf der einen Seite platt, auf der anderen schwach gewölbt. Sieht man auf die Fläche des nicht selten durch Schlitze in mehrere Lappen gespaltenen Endes, so zeigt schon die Art, wie die Durchsichtigkeit des Bündels nach dem Ende hin zunimmt, dass keine drehrunde Gestalt vorliegt. Die Durchsichtigkeit stellt sich früher ein und wächst allmählicher, als bei wahren Muskelkegeln der Fall sein könnte. Oft aber erfährt man auch beim Wälzen der Bündel, dass ein Bündel, welches man seinem zuerst sich darbietenden Anblicke nach für prismatisch oder cylindrisch hielt, in seiner ganzen Länge bandförmig plattgedrückt ist.

Ich verzichte übrigens darauf, diese Angelegenheit erschöpfend zu

behandeln, wozu mehr Zeit und Mühe gehört, als ich ihr widmen kann. Mir lag nur daran, sie soweit in's Reine zu bringen, wie für meine Zwecke nöthig war. Das Beispiel des Tri- [814] ceps scheint zu lehren, dass hier noch manche unerwartete Thatsache zu finden ist. Durch die Mittel zur Isolirung der Muskelbündel ist die Untersuchung der Gestalt der Muskelbündelenden so erleichtert, dass es der Mühe wohl lohnen dürfte, diesen Weg weiter zu verfolgen.

---

# ZWEITE ABTHEILUNG.

---

# MUSKEL- UND NERVENSTROM.

XVIII.

# Ueber das Gesetz des Muskelstromes, mit besonderer Berücksichtigung des M. gastroknemius vom Frosch.[1]

(Hierzu Taf. I und II.)

## Einleitung.

§. I. Hr. Budge hat gegen das Gesetz des Muskelstromes einen Angriff gerichtet, der jedoch auf einem Missverständniss beruht, indem er das Gesetz an einem unregelmässig gestalteten Muskel, dem Gastroknemius des Frosches, bestätigt finden will.

Unter dem Aufsehen erregenden Titel: „Beweis, dass das Duboissche Gesetz vom Muskelstrom unhaltbar ist, geführt von Julius Budge, Professor in Greifswald", hat dieser Physiologe am 1. Juni 1861 in der *Deutschen Klinik*[2] einen Aufsatz veröffentlicht, worin er, durch Versuche am Gastroknemius des Frosches, zu zeigen glaubt, dass das von mir vor zwanzig Jahren aufgestellte Gesetz des Muskelstromes in fast allen Punkten vollkommen falsch sei, und dass ich einen sehr wichtigen, höchst wahrscheinlich den wichtigsten Theil der elektromotorischen Thätigkeit der Muskeln übersehen habe.

In der That lässt Hr. Budge von dem Gesetze des Muskelstromes nichts bestehen, als die Positivität des Längsschnittes gegen den künstlichen Querschnitt. Den so erhaltenen Strom will er den künstlichen Muskelstrom genannt wissen. Er [522] leugnet, dass die sehnigen Ausbreitungen als natürliche Querschnitte der Muskeln zu betrachten, und als solche negativ gegen den Längsschnitt seien. Die Wirkungen, die man von einem unversehrten Muskel erhält, leitet er von einem 'polaren Gegensatze' seiner beiden Enden ab, vermöge dessen von zwei

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 521.

[2] A. a. O. No. 22. S. 207—210.

Punkten, z. B. am Gastroknemius des Frosches, der höhere sich stets positiv[1] gegen den tieferen verhalte, und zwar um so stärker, je weiter die beiden Punkte von einander abstehen. Dies sei der natürliche Muskelstrom. Die Ströme, die ein Muskel zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt giebt, betrachtet Hr. Budge als algebraische Summe jenes künstlichen und dieses natürlichen Muskelstromes.

Die Fehler der Beobachtung und der Schlussfolge, die Hrn. Budge zu diesen Sätzen geführt haben, sind so auffällig, dass ich zuerst glaubte, seinen Angriff auf sich beruhen lassen zu können. Ich rechnete theils auf die bessere Einsicht der Fachgenossen, theils auf die des Hrn. Budge selber, nachdem sich bei ihm der Rausch gelegt haben würde, in den ihn die Vorstellung des über mich errungenen Triumphes versetzt zu haben scheint. Doch hatte ich mich, was Hrn. Budge anlangt, getäuscht.

Die *Medical Times and Gazette* vom 5. October 1861 brachte eine anonyme Correspondenz aus Zürich,[2] in welcher neben Hrn. Moleschott's vermeintlicher Entdeckung einer positiven Schwankung des Nervenstromes im Tetanus[3] auch der angeblich Hrn. Budge gelungene Umsturz des Gesetzes des Muskelstromes der englischen Gelehrtenwelt als ausgemachte Sache und grosse That verkündigt wurde. Da ich in England nicht die gleiche Urtheilsfähigkeit über diese Fragen voraussetzen konnte, wie bei uns, so hielt ich es für gerathen, der Züricher Correspondenz in derselben Zeitschrift entgegenzutreten. Hrn. [523] Budge betreffend bemerkte ich kurz, dass sein Angriff auf das Gesetz des Muskelstromes auf einem Missverständniss beruhe. Das Gesetz beziehe sich auf regelmässig gestaltete Muskeln; es am Gastroknemius bestätigt finden zu wollen, sei ebenso unbedacht, als den Schwerpunkt eines Kegels oder einer Pyramide in der Mitte der Axe dieser Körper zu suchen, weil dies seine Lage in einem Cylinder oder einem Prisma sei.[4]

Anstatt Hrn. Budge zur Besinnung zu bringen, veranlasste ihn diese Aeusserung nur zur Erneuerung seines Angriffes. In einer zweiten vorläufigen Mittheilung in der *Deutschen Klinik*[5] hält er mit grösster Schroffheit seine Behauptungen aufrecht, stützt sie durch neue zahlreiche Versuche und ergeht sich in erstauntem Tadel darüber, dass

---

[1] Hr. Budge selber sagt „negativ“ (S. 209), was aber keinen Sinn bietet.

[2] L. c. No. 588 p. 358.

[3] Vergl. Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. VIII. 1862. S. 1; — meine Bemerkungen dazu im Archiv für Anatomie u. s. w. 1861. S. 786; — Joh. Ranke ebendas. 1862. S. 241.

[4] L. c. Dec. 21, 1861. No. 599. p. 647.

[5] 25. October 1862. No. 43. S. 415—417.

mir, der ich mich seit zwanzig Jahren mit diesem Gegenstande beschäftige, Erscheinungen fremd seien, die sich ihm beim ersten Blick dargeboten hätten; in der letzten Auflage seines 'Lehrbuches der speciellen Physiologie'[1] aber wiederholt er seine Sätze, und erläutert sie mit einem Aufwand von Abbildungen, auch zu Nutz und Frommen der studirenden Jugend.

Der Ton, den Hr. Budge dabei anschlägt, ist so zuversichtlich, dass ich endlich doch fürchten muss, eine grosse und achtungswerthe Classe von Lesern, welcher der Natur der Dinge nach die Grundlage zu einem selbständigen Urtheil in dieser Angelegenheit nicht ohne Weiteres zur Hand sein kann, möchte sich dadurch beirren lassen. Von verschiedenen Seiten wird mir angedeutet, dass, wenn man auch im Grunde an die Richtigkeit meiner Aufstellungen glaube, man doch nicht ungern vernähme, was ich eigentlich Hrn. Budge zu antworten habe. Bei der Wichtigkeit der Sache will ich daher diesmal den Handschuh aufnehmen, den mir Hr. Budge wiederholt hinwirft.[2] Ich will die Mühe daran wenden, für Jedermann [524] klar an den Tag zu legen, was hinter jener anmassenden Sicherheit steckt, und ich will die Physiologen, die sich dadurch haben imponiren lassen, in den Stand setzen, zu beurtheilen, ob ich so lange schwieg, weil ich nichts zu sagen hatte, oder weil mir nichts daran lag, Hrn. Budge die empfindliche Lehre zu ertheilen, die aus dem Folgenden für ihn hervorgehen wird.

Zuvörderst sei bemerkt, dass Hrn. Budge's Theorie der Muskelströme nicht neu ist und nicht ihm angehört, sondern, wie er aus meinen Schriften hätte lernen können,[3] Hrn. Matteucci, dessen Leistungen Hr. Budge doch sonst mit so dienstbeflissenem Eifer herauszustreichen pflegt. Hrn. Budge's 'polarer Gegensatz' der beiden Enden des Gastroknemius ist nichts als Hrn. Matteucci's längst von ihm selber aufgegebener 'Courant propre de la grenouille'. Da ich im Beginn meiner Forschungen diese Lehre in der Wissenschaft vorfand, so wäre es mir wohl schwer gewesen, die elektromotorischen Eigenthümlichkeiten des

[1] Leipzig 1862. S. 536. 538.

[2] S. Hrn. Budge's Aufsätze über unipolare Inductionszuckungen und über die Froschhautströme in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1859. Bd. CVII. S. 482. 1860. Bd. CXI. S. 537. — Vergl. über letzteren Aufsatz Hrn. Rosenthal's Bericht in den Fortschritten der Physik im Jahre 1860. XVI. Jahrgang. 1862. S. 544.

[3] Vergl. im ersten Bande meiner „Untersuchungen" den Paragraphen: „Zur Geschichte des Gesetzes des Muskelstromes", S. 527 ff.; — ferner: Die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. S. 516 ff.; — 1848. S. 320. 321; — endlich meine Schrift: On Signor Carlo Matteucci's Letter to H. Bence Jones etc. London 1853. p. 15. 19.

Gastroknemius zu übersehen, die Hr. MATTEUCCI durch seinen 'Courant propre' erklärte. Ich brauchte nicht erst durch Hrn. BUDGE darauf aufmerksam gemacht zu werden, und ich werde wohl gute Gründe gehabt haben, jene Lehre zu verwerfen; Gründe, deren Triftigkeit auch überall anerkannt worden ist, wo man sie mit Einsicht und mit Aufmerksamkeit gewürdigt hat.

Seine Versuchsweise beschreibt Hr. BUDGE so: „Ich habe die Ver-
„suche zuerst nach der früheren DUBOIS'schen Methode angestellt, indem
„ich die bekannten Porcellangefässe mit Platinblechen und concentrirter
„Kochsalzlösung, sowie Kupferdrähte gebrauchte. Später bediente ich
„mich der von Hrn. MATTEUCCI angegebenen amalgamirten Zinkdrähte,
„[525] einer concentrirten Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd und Zu-
„leitungsgefässe (*sic*) von amalgamirtem Zink. Letztere Vorrichtung ver-
„dient vor der ersteren bei weitem den Vorzug und hat wohl auch schon
„jene gänzlich verdrängt.“[1]

Ich führe dies nicht an, um zu zeigen, wie Hr. BUDGE die Geschichte der Entdeckung der unpolarisirbaren Elektroden zu meinem Nachtheil entstellt. Bei der Anerkennung, welche mein Antheil daran überall gefunden hat, kann es mir gleichgültig sein, ob Hr. BUDGE meiner vor der Hand erschöpfenden Untersuchung neben Hrn. MATTEUCCI's unvollständiger und fehlerhafter Angabe gedenkt oder nicht. Es kann mich nur belustigen, wenn er so thut, als müsse er mir gegenüber die Vorzüge des verquickten Zinks zur Geltung bringen, dabei aber durch die Hrn. MATTEUCCI[2] ganz fremden Zuleitungsgefässe aus verquicktem Zink verräth, dass er mit meinem Kalbe gepflügt hat. Diese Zuleitungsgefässe sind nämlich keine anderen, als die von Hrn. SAUERWALD nach meiner Zeichnung verfertigten. Hr. SAUERWALD hat diese Gefässe, wie mehrere meiner Apparate, noch ehe ich sie beschrieben hatte, mit meiner Einwilligung verschiedenen Gelehrten, unter anderen Hrn. BUDGE, geliefert. Dies erklärt, wie sie in Hrn. BUDGE's Lehrbuch[3] im Holzschnitt erschienen, ehe ich selber eine Abbildung davon gab.[4]

Allein es handelt sich hier in der That um etwas ganz anderes. Ich führte jene Stelle wörtlich an, damit man mit Augen sehe, was zu erzählen ich kaum gewagt hätte, dass Hr. BUDGE es für nöthig

---

1 Erste vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 207.

2 S. die Beschreibung von Hrn. MATTEUCCI's neuester Vorrichtung in: Il Nuovo Cimento. Marzo ed Aprile 1861. T. XIII. p. 137.

3 S. 455 Fig. 116.

4 Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken. Aus den Abhandlungen der Königl. Akademie d. Wissenschaften zu Berlin 1862. Berlin 1863. 4. Taf. I. Fig. 1. — S. oben, Bd. I. Taf. I. Fig. 1.

hält, auch die Drähte, welche von den Zuleitungsgefässen zum Multiplicator führen, fortan statt aus Kupfer, aus verquicktem Zink zu nehmen. Dass dies wirklich der Fall ist, dass hier kein [526] zufälliger Irrthum vorliegt, erhellt nicht bloss aus einer Stelle in Hrn. Budge's oben S. 65 Anm. 2 erwähntem Aufsatz über die Froschhautströme,[1] sondern damit jeder Zweifel schwinde, sind auch in der Erklärung jenes, einen Multiplicator mit meinen Zuleitungsgefässen vorstellenden Holzschnittes in Hrn. Budge's Lehrbuch S. 455, die den Multiplicator mit den Gefässen verknüpfenden Drähte als 'verquickte Zinkdrähte (*d*)' bezeichnet.

Man kann sich denken, welche Noth Hrn. Budge die Brüchigkeit dieser verquickten Zinkdrähte verursachte. Gelungen ist aber, dass er daraus auch Vortheil zu ziehen wusste. Bekanntlich werden die Drähte von den Zuleitungsgefässen nicht unmittelbar zum Multiplicator, sondern zuerst zu zwei am Consol befestigten Klemmen geführt, „damit durch „Ziehen an den Drähten nicht der Multiplicator umgeworfen wird. Ich „finde dies nicht nöthig“, bemerkt Hr. Budge vornehm, „da bei einem „solchen ungeschickten Zuge die Zinkdrähte viel zu rasch zerbrechen „würden.“[2] *Risum teneatis amici.*

Die Vorstellung, dass die Natur der den Multiplicator und die Zuleitungsgefässe verknüpfenden Drähte von Einfluss auf die Polarisation sei, setzt eine solche Begriffslosigkeit des Hrn. Budge in der Elektricitätslehre voraus, dass sich doch wieder die Frage aufdrängt, ob es sich der Mühe verlohne, näher auf seine Einwendungen einzugehen. Würde ein Chemiker bei seinen Fachgenossen Gehör finden, der einen heftigen Angriff auf eine sonst wohlbeglaubigte Lehre damit eröffnete, dass er Kohlensäure verbrennen, oder ein Physiker, der Quecksilber und Wasser gleich hoch im Barometer stehen liesse? Schwerlich. Die heutige Physiologie jedoch nimmt eine solche Mannichfaltigkeit von Kenntnissen in Anspruch, dass bei nur wenig Physiologen eine gleiche Bewanderung in den Grundlagen der verschiedenen Zweige ihrer Wissenschaft vorausgesetzt werden [527] kann. Es ist daher nicht von Jedem zu erwarten, dass ihn beim Anblick der grauenhaften Lücke in Hrn. Budge's elektrischem Wissen, die dieser noch dazu so naiv aufdeckt, der gebührende Schauer überlaufe. Und da nach dem Sprichwort auch das blinde Huhn zuweilen ein Korn findet, so wollen wir uns durch diesen Anfang, wie schlimm er

---

[1] A. a. O. S. 538: „Das dazu angewendete Instrument von Hrn. Sauerwald „in Berlin hat 30000 Windungen; die Drähte und Zuleitungsgefässe sind von ver„quicktem Zink“ u. s. w.

[2] Lehrbuch u. s. w. S. 457.

auch sei, nicht davon abschrecken lassen, in die Wildniss einzudringen, die er verspricht.

Noch eine Abänderung fand Hr. Budge für gut, an meinen Vorrichtungen anzubringen. Die Eiweisshäutchen, die ich selber seit geraumer Zeit mit Thonschildern vertauscht habe,[1] ersetzte er durch kleine, mit destillirtem Wasser getränkte Papierröllchen, die einerseits den Bausch, andererseits den abzuleitenden Punkt des Muskels berührten. Hr. Budge weiss nicht, dass destillirtes Wasser kaum besser leitet, als manche Sorten Glas, und dass es schneller zerstörend auf die Leistungsfähigkeit der Muskeln wirkt, als bis zu einem gewissen Grade verdünnte Salpetersäure.[2]

Hr. Budge unternimmt nun also, das Gesetz des Muskelstromes auf's Neue zu prüfen. „Um den Gegenstand nicht zu compliciren", sagt er, „beschäftige ich mich blos mit demjenigen Muskel, welcher in allen phy- „siologischen Versuchen am häufigsten angewendet zu werden pflegt und „von Hrn. Dubois selbst am meisten gebraucht worden ist, dem M. gastro- „cnemius (Dubois, Untersuchungen I. p. 494). Alle meine Angaben be- „ziehen sich lediglich auf diesen."

Wir sind bei dem Quell von Hrn. Budge's Verirrungen angelangt. Allerdings spielt der Gastroknemius des Frosches in meinen Untersuchungen eine grosse Rolle. Allein ich habe ihn nur gebraucht, um den Einfluss der Zusammenziehung, der Ausdehnung und Zusammendrückung, der Wärme, der Kälte, des Aufenthaltes in der Luftleere und in Gasen, und solcher Umstände mehr, auf die Stärke des Muskelstromes zu erfor- [528] schen. Mit anderen Worten, bis zur Entdeckung der parelektronomischen Schicht am natürlichen Querschnitt, wodurch er für diesen Zweck entwerthet wurde, war der Gastroknemius mir ein Paradigma des Muskels als Elektromotors, das sich jederzeit leicht, schnell und sicher von möglichst gleicher Beschaffenheit herstellen und bequem verschiedenen Bedingungen unterwerfen liess. In diesem Sinne pries ich an der von Hrn. Budge angeführten Stelle den Gastroknemius und die Dienste, die er uns im Verfolg der Untersuchung leisten werde.

Nie jedoch ist es mir eingefallen, mich des Gastroknemius zur Aufstellung des Gesetzes des Muskelstromes zu bedienen. Vielmehr bestehe ich wiederholt darauf,[3] dass man sich hierzu an die vier mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln, den Rectus internus, Sartorius,

---

[1] Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. S. 92. — S. oben Bd. I. S. 161.

[2] Kühne, im Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 221. 222.

[3] A. a. O. Bd. I. S. 500. 502. 696. 704. 708.

Adductor magnus und Semimembranosus Cuv. zu halten habe, und meine Abbildungen stellen laut dem „Nachweis zu 'den Kupfertafeln", übrigens, sollte ich meinen, auch ohnedies für jeden Kundigen erkennbar, namentlich aber von dem gleichfalls abgebildeten Gastroknemius leicht zu unterscheiden, den Adductor magnus, gelegentlich den Sartorius, in den verschiedenen Lagen auf den Bäuschen vor, die zum Erweise des Gesetzes durchzumachen sind.[1] Ausdrücklich schematisire ich den Muskel, sobald vom Gesetze seiner elektromotorischen Thätigkeit die Rede ist, in Wort und Bild als einen Cylinder, dessen Mantel dem positiven Längsschnitt, dessen Grundflächen den beiden negativen Endquerschnitten entsprechen.[2] Stets auf's Neue schärfe ich ein, dass man nur an Muskeln, die von dieser idealen Gestalt nicht zu sehr abweichen, erwarten dürfe, das Gesetz bestätigt zu finden.[3] Ausdrücklich habe ich bereits in dem ersten Bande meines Werkes, S. 512. 513 (vergl. dazu Taf. IV. Fig. 33.), hervorgehoben, wie wenig der Gastroknemius diese Bedingung erfüllt. Näher bin ich endlich auf den Bau des Gastroknemius [529] eingegangen in der 1860 erschienenen 1. Lieferung der 2. Abtheilung des II. Bandes der 'Untersuchungen', S. 349—351.[4] An beiden Stellen habe ich erklärt, weshalb dieser Muskel sowie der ihm ähnliche M. triceps Cuv., unversehrt und mässig parelektronomisch, bei der gewöhnlichen, und bis dahin allein versuchten Art der Ableitung, nur aufsteigend wirke.

Dies Alles ist, wie es scheint, Hrn. Budge unbekannt geblieben, oder für ihn noch nicht deutlich genug gewesen. Wir haben ihm in eine Versuchsreihe am Gastroknemius zu folgen, welche angeblich daran lauter mit dem Gesetze des Muskelstromes unverträgliche Wirkungen aufdeckt. Als Vorbereitung dazu will ich zuerst nochmals den Bau des Gastroknemius schildern, soweit dieser Bau für jetzt elektromotorisch in Betracht kommt.

## §. II. Der Bau des Gastroknemius des Frosches wird in elektromotorischer Beziehung erläutert.

In der Beschreibung des Gastroknemius werden dessen Enden, als stände der Frosch aufrecht, unterschieden als oberes und unteres, seine Flächen als Rückenfläche, Tibialfläche, äussere und innere Seitenfläche.

---

[1] Taf. IV. Fig. 29—44. Taf. V. Fig. 50. 51. 77. 78.

[2] A. a. O. S. 516. 517. Taf. V. Fig. 46—48. 57.

[3] A. a. O. S. 512. 519. 535. 631. 658. 688.

[4] Vergl. auch daselbst S. 106, und in den Monatsberichten der Akademie, 1853, S. 120.

Die halbschematischen Figuren 1., 2., 3., 4. auf Taf. I. stellen beziehlich die innere Seitenfläche des linken, die äussere des rechten, die hintere oder Rücken- und die vordere oder Tibial-Fläche des linken Gastroknemius vor. Man erkennt leicht die Theile der Muskeloberfläche, wo natürlicher Längsschnitt herrscht. Die glatten Strecken sind Sehnenausbreitung, unter der natürlicher Querschnitt liegt. In den Seitenansichten bedeutet $D$ den Rand, welcher der Dorsal-, $T$ den, welcher der Tibialfläche angehört.

Um sich den Bau des Gastroknemius klar zu machen, thut man am besten, sich diesen Bau folgendermaassen entstanden zu denken. Zuerst sei ein ganz kurzer cylindrischer Muskel da, mit sehr schrägen, folglich gestreckt elliptischen Grund- [530] flächen, die mit den blattähnlichen Ausbreitungen der oberen Sehne $H$ und der unteren oder Achillessehne $A$ bekleidet sind. (S. Fig. 5.) Die untere, wirklich vorhandene Ausbreitung liegt bekanntlich an der Rückenfläche $D$ des Muskels; die obere denke man sich an der Tibialfläche $T$ gelegen. Nun klappe man in Gedanken die obere Ausbreitung in ihrer Durchschnittslinie $\Gamma' K \Gamma_{,}$ mit der Medianebene des Muskels nach vorn zusammen, wie ein Buch, das man zumacht, und lasse ihre beiden Hälften zu einer in jener Ebene befindlichen sehnigen Scheidewand verwachsen, von deren Seitenflächen jede den oberen Enden sämmtlicher Bündel der entsprechenden Muskelhälfte zum Ansatze dient. Bei diesem Verwachsen treffen symmetrisch zur Medianebene gelegene Punkte, wie etwa die mit $\alpha'$, $\alpha_{,}$; $\beta'$, $\beta_{,}$; $\varrho'$, $\varrho_{,}$ bezeichneten, auf einander. Bündel also, welche von symmetrisch zur Medianebene gelegenen Punkten der unteren zu entsprechenden Punkten der oberen Ausbreitung gingen, wie $\alpha' a'$, $a_{,} \alpha_{,}$, $b' \beta'$, $b_{,} \beta_{,}$, verschmelzen jetzt nach oben zu einer Schleife in Gestalt eines Spitzbogens, die nur in der Medianebene, an der Spitze des Bogens, durch jene sehnige Scheidewand unterbrochen wird. Diese Scheidewand bildet im Verlauf der im Zusammenhang gedachten Bündel beider Muskelhälften gleichsam eine verschwindend kurze Inscriptio tendinea der Art, wie sie die Seitenrumpfmuskeln der Fische als Ligg. intermuscularia durchsetzen, nur mit dem Unterschiede, dass bei den Fischen die Bündel beiderseits von der Scheidewand einerlei Richtung haben [S. oben S. 56. 57.].

An der Tibialfläche des Muskels (Fig. 4.) kommt die Inscriptio tendinea zum Vorschein in Gestalt eines sehnigen Streifes $\Gamma' \varrho \Gamma_{,}$, von dem das Fleisch beiderseits wie an einem Musculus bipinnatus nach unten und seitwärts abfällt, und der nach unserer Vorstellung aufzufassen ist als entstanden durch Verschmelzung der seitlichen Ränder $\Gamma' \varrho' \Gamma_{,}$, $\Gamma' \varrho_{,} \Gamma_{,}$ der oberen Sehnenausbreitung.

An der Rückenfläche (Fig. 3.) besteht die Ausbreitung der Achilles-

sehne fort, aber sie biegt sich, entsprechend dem Zusammenklappen der oberen Ausbreitung, nach vorn zusammen. Ihr oberer Rand reicht bis nahe an die obere Sehne hinauf. [531] Sein in der Medianebene gelegener höchster Punkt ist mit $G'$, sein tiefster mit $G_{,}$ bezeichnet, weil diese Punkte die Grenze zwischen Längs- und Querschnitt abgeben; der Mittelpunkt der Ausbreitung aber mit $C$. Die entsprechenden Punkte der oberen, fictiven Sehnen-Ausbreitung sind entsprechend griechisch benannt. Die Achillessehnen-Ausbreitung, oder den Sehnenspiegel der Achillessehne, wollen wir in der Folge, wo er eine grosse Rolle spielen wird, der Kürze halber den Achillesspiegel nennen.

Spaltet man die Achillessehne der Länge nach, fasst jede Hälfte mittels einer starken Pincette, und reisst mit einem langsamen und kräftigen Zuge den Muskel auseinander, so gelingt es oft, ihn in zwei Hälften zu spalten, deren jede an der Trennungsfläche im Wesentlichen die in Fig. 6. der äusseren Hälfte entnommene Ansicht bietet. $G'CG_{,}$ ist im Durchschnitt der in der Medianebene zerrissene Achillesspiegel, $\Gamma' K \Gamma_{,} \varrho$ das äussere Blatt der sehnigen Scheidewand, welche, als läge unserer Fiction von der Entstehung des Gastroknemiusbaues etwas Wirkliches zu Grunde, die Neigung zeigt, sich in zwei Blätter zu trennen, deren jedes der entsprechenden Muskelhälfte folgt. Kocht man Gastroknemien, bis das Sehnengewebe zu Leim ward, so entsteht an der Stelle der sehnigen Scheidewand ein nach der Tibialfläche offener Spalt, dessen Grund und Wände nichts sind als der nach innen eingestülpte obere natürliche Querschnitt [Vergl. oben S. 54].

An regelmässig gefaserten Froschmuskeln haben im Allgemeinen alle Bündel einerlei Länge, nämlich die des Muskels selber. Fig. 6. zeigt, dass im Gegensatz dazu am Gastroknemius nicht nur die einzelnen Bündel viel kürzer sind als der ganze Muskel, was sich nach dem Vorigen von selber versteht, sondern dass sie auch verschieden lang sind. Die längsten sind die, welche von dem höchsten Punkte $G'$ des Achillesspiegels an der Rückenfläche des Muskels zur oberen Sehne empor-, die kürzesten die, welche von dem tiefsten Punkte $\Gamma_{,}$ des sehnigen Streifes an der Tibialfläche zur Achillessehne hinabsteigen. Man wird nicht sehr irren, wenn man jenen längsten Bündeln etwa $^2/_7$, diesen kürzesten nur $^1/_7$ der Länge des Muskels beimisst.

[532] Um meinen Zuhörern den Gastroknemiusbau zu versinnlichen, habe ich ein Modell verfertigt, welches auch Hrn. Professor Budge sehr nützlich sein würde. Aus Guttapercha bildete ich zuerst die obere mehr blatt-, die untere mehr Löffel- oder Schuhhorn-ähnliche Ausbreitung, hälftete jene der Länge nach, und verband die Hälften mit einem Scharnier. Dann spannte ich zwischen entsprechenden Punkten der beiden

Ausbreitungen rothe Wollfäden statt der Muskelbündel aus. Klappt man die beiden Hälften der oberen Ausbreitung wie ein Buch zu, so entsteht ein treues Bild des allgemeinen Faserverlaufes am Gastroknemius.

Von dem geschilderten regelmässigen Bau finden einige Abweichungen statt, welche zwar an sich sehr geringfügig, doch unsere Beachtung verdienen.

Vor Allem ist zu bemerken, dass der Gastroknemius oben zwei Sehnen hat. Die eine stärkere kürzere dieser Sehnen, welche den Namen der Hauptsehne verdient, daher *H* in den Figuren, liegt zu oberst in der Medianebene und heftet sich mit einem Zipfel an das Femur, mit einem zweiten an die Tibia. An der Tibialfläche (Fig. 4.) erscheint sie als unmittelbare Fortsetzung des sehnigen Streifes $\Gamma' \varrho \Gamma_{\prime}$. Die andere schwächere längere Sehne, Nebensehne genannt, und deshalb in den Figuren mit *N* bezeichnet, kommt nach unten und vorn von der ersten zwischen den beiden zusammengeklappten Hälften der oberen Ausbreitung hervor, wie ein Lesezeichen aus dem Buche, schlägt sich eine Strecke lang nach aussen und oben um den Muskel, wie Fig. 4. zeigt, und löst sich dann von ihm ab, um an der äusseren Seite des Kniegelenkes emporsteigend mit der Kniegelenkkapsel und mit dem äusseren Rande der unteren Sehnen-Ausbreitung des M. triceps Cuv. zu verschmelzen,[1] der sich dadurch an der Streckung des Fussgelenkes betheiligen kann. Die Nebensehne ist Solchen, die sich mit der paradoxen Zuckung beschäftigt haben, wohlbekannt, weil unter ihr fort der N. peronaeus geht, der um die Sehne des M. biceps Cuv. zur äusseren Seite des [533] Kniees gelangt.[2] Man unterscheidet übrigens am äusseren der beiden Blätter, in die sich die sehnige Scheide-

---

[1] Dugès (Recherches sur l'Ostéologie et la Myologie des Batraciens à leurs différens Ages. Paris 1834. 4. pl. VI. fig. 42 et pl. VI *bis.* fig. 42 *bis.* 159.) bildet das Verhalten nicht ganz richtig ab. Eine förmliche Trennung des Muskels in zwei Köpfe, wie er sie darstellt, lässt sich höchstens künstlich dadurch herbeiführen, dass man an der Nebensehne zieht. Richtiger ist die auf die Kröte bezügliche Fig. 57. pl. X. — Rud. Wagner's Abbildung in den Icones zootomicae (Leipzig 1841. Taf. XVII. Fig. 21.) ist von Dugès entlehnt. — Auch die Abbildungen in Carus' Erläuterungstafeln zur vergleichenden Anatomie (Hft. I. Leipzig 1826. Taf. III. Fig. III.) und in Ecker's Icones physiologicae (Leipzig 1851—59. Taf. XXIV. Fig. IV.) geben keinen Begriff von dem in Rede stehenden Verhalten. Zenker's Batrachomyologia (Jenae 1825. Taf. II. Fig. III. 51.) ist hier ganz unbrauchbar. — [Die Beschreibung und Abbildung des Gastroknemius in Hrn. Ecker's „Anatomie des Frosches" (Braunschweig 1864. S. 120. Fig. 81. 82. 87.) nimmt noch nicht Rücksicht auf die hier gegebene Darstellung, und für den Physiologen ist darin kein Fortschritt über die früheren Angaben bemerkbar.]

[2] Vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 546; — Abth. II. S. 349; — dazu Taf. V. Fig. 141.

wand des Gastroknemius beim Zerreissen spaltet, einen stärkeren Faserzug, der zur Nebensehne geht (Fig. 6.).

Die erste jener Abweichungen besteht nun darin, dass in der Strecke, in der die Nebensehne sich von der Medianebene um den Kopf des Muskels nach aussen wendet, einige vom äusseren Rande des Achillesspiegels entsprungene Bündel sich an sie setzen, welche also ausnahmsweise nicht an der sehnigen Scheidewand endigen. Sie sind in Fig. 4. durch eine Klammer bezeichnet. Wenn in der Folge von der Nebensehne schlechthin die Rede ist, hat man darunter stets nur jene Strecke, mit Ausschluss des vom Muskel gelösten, am Knie emporsteigenden Zipfels zu verstehen.

Als eine zweite Abweichung lässt es sich ansehen, dass, wie dies in Fig. 4. hervortritt, die Scheidewand da, wo sie zur Hauptsehne wird, sich verdickt, so dass die obersten Bündel der beiden Muskelhälften nicht zu einem Spitzbogen verschmelzen, sondern eine sich nach oben erweiternde Lücke zwischen sich lassen, welche die Sehne, gleich dem Schlussstein eines Gewölbes, ausfüllt.

Eine dritte Abweichung endlich besteht darin, dass die beiden Hälften des Muskels, auch abgesehen von der Nebensehne [534] der äusseren Hälfte, nicht ganz symmetrisch sind. Es steigt nämlich die äussere Hälfte an der Hauptsehne etwas höher hinauf, als die innere, wie man gleichfalls noch in Fig. 4. sieht. Ausserdem besitzt diese Hälfte eine grössere Masse, wie die in Fig. 7. abgebildete Ansicht der unteren Hälfte eines querdurchschnittenen linken Gastroknemius lehrt, wo $r'mr_{,}$ den Durchschnitt des Achillesspiegels bedeutet. Der Unterschied ist zu gross, um ihn von den Bündeln herzuleiten, die sich an die Nebensehne heften. Seinen wahren Grund erkennt man bei Betrachtung der Tibialfläche (Fig. 4.), noch besser wenn man den Muskel jener Fläche parallel (frontal) durchschneidet. Fig. 8. zeigt die vordere Fläche eines solchen Abschnittes vom linken Gastroknemius. Man gewahrt, wie beiderseits die Bündel unter demselben Winkel, und folglich in gleicher Anzahl, an die Scheidewand stossen, wie aber aussen die Bündel um etwa ein Drittel länger sind als innen. Die äussere Gastroknemiushälfte hat somit, bei gleicher Kraft mit der inneren, einen grösseren Hub als diese; mit welchem Erfolge für die Mechanik des Froschbeines, ist nicht leicht zu sagen.

Es folgt beiläufig hieraus und aus dem Vorigen, dass der Gastroknemius schlecht zu Versuchen passt, wobei es auf genaue Feststellung der mechanischen Leistungen der Muskelbündel ankommt, da die einzelnen Gastroknemiusbündel, vermöge ihrer verschiedenen Länge, durch

ein der Achillessehne angehängtes Gewicht verschieden gedehnt werden, und sich bei der Verkürzung verschieden an dessen Hebung betheiligen.

---

## Erste Abtheilung.

### Vom Strom des unversehrten M. gastroknemius des Frosches.

§. III. Aus dem Bau des Gastroknemius werden nach dem Gesetz des Muskelstomes die elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Muskels vorhergesagt.

Es wird unser Geschäft erleichtern, wenn wir sogleich noch versuchen, aus dem Bau des Gastroknemius seine elek- [535] tromotorischen Wirkungen, zunächst nur im unversehrten Zustande, vorherzusagen, wie sie sich nach dem Gesetze des Muskelstromes gestalten müssen.

Nach diesem Gesetze verhält sich der Längsschnitt stark positiv gegen den Querschnitt; am Längsschnitt verhält sich jeder vom Querschnitt entferntere Punkt schwach positiv gegen jeden dem Querschnitt näheren; ebenso am Querschnitt jeder dem Längsschnitt nähere Punkt schwach positiv gegen jeden davon entfernteren. An regelmässig gefaserten Muskeln, deren Untersuchung dies Gesetz entnommen ist, lässt sich somit zwischen zwei negativen Basalzonen, den beiden Querschnitten, eine positive Mantelzone, der Längsschnitt, unterscheiden. An jedem Querschnitt findet sich sodann ein Punkt, oder eine Reihe von Punkten, welche, als am weitesten vom Längsschnitt, am negativsten sind. Dies sind die Pole des Muskels. Umgekehrt der Inbegriff der Punkte des Längsschnittes, welche am weitesten von beiden Querschnitten, und deshalb am positivsten sind, ist der elektromotorische Aequator. Der Aequator setzt also zwei Pole voraus, zwischen denen er die Mitte halte; zwei Punkte von unter sich gleicher elektrischer Beschaffenheit, von welcher die Beschaffenheit seiner eigenen Punkte um gleich viel und am meisten abweiche, indem sie sich nach irgend welchem Gesetze nach jenen Punkten hin abstuft. Die Verknüpfung eines Aequatorpunktes mit einem Pol liefert bei gleichem Widerstande den stärksten Strom; und zu einem Punkt diesseit des Aequators giebt es stets einen gleichartigen Punkt jenseit des Aequators auf der anderen Muskelhälfte. Sehen wir zu, wieviel von diesen Regeln noch auf den Gastroknemius passe.

Aus unserer Zergliederung folgt, dass am oberen Ende des Gastroknemius kein freier Querschnitt oder keine negative Begrenzung da ist.

Zwei Stellen zwar machen hiervon eine Ausnahme, erstens die Nebensehne, insofern sie den oberen natürlichen Querschnitt einer Anzahl von Bündeln überzieht, zweitens die Hauptsehne selber, weil darunter einige Bündel nicht mit ihren oberen Enden spitzbogenförmig zusammenstossen. Diese Stellen sind indess so klein, dass sie für [536] jetzt keine Beachtung verdienen. Wird dem Muskel ein Bausch so angelegt, dass deren eine oder beide in die Berührungsfläche fallen, so kann dies nur bewirken, dass die Fläche etwas negativer erscheint, als wäre in gleicher Entfernung vom Querschnitt reiner Längsschnitt berührt worden.

Sieht man also hiervon ab, so ist klar, dass im Gegensatz zu regelmässig gefaserten Muskeln am Gastroknemius nur Eine positive und Eine negative Zone vorhanden sind, von denen jene den Muskelkopf einnimmt und sich der Tibialfläche entlang bis zur Achillessehne hinabzieht, diese den grösseren Theil der Rückenfläche und der beiden Seitenflächen, gleichfalls bis zur Achillessehne hinab, ausmacht (s. die Figuren). Der Gastroknemius als Elektromotor ist im Grossen und Ganzen nicht, gleich den regelmässig gefaserten Muskeln, nach peripolarem, sondern nach dipolarem Schema gebaut.

Es kann also auch daran von keinem elektromotorischen Aequator im gewöhnlichen Sinne die Rede sein. Dazu fehlen die beiden negativen Pole,[1] zwischen denen er die Mitte halten könnte. Sondern es findet hier dasselbe statt, wie an einem Muskel, den man so zusammengebogen und dann schräg durchschnitten hat, dass die beiden Hälften gleich den Schenkeln eines geschlossenen Zirkels an einander, die beiden Querschnitte in Einer Flucht liegen (s. Fig. 9.).[2] Die Punkte des Längsschnittes $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}K$, die früher Aequator waren, haben die Bedeutung eingebüsst, elektrisch die Mitte zu halten zwischen zweien Punkten an den Enden des Muskels. Dagegen haben diese Punkte von den Eigenschaften des Aequators noch die [537] bewahrt, dass sie, als am weitesten vom Querschnitt, am positivsten sind. An der durch das Zusammenbiegen des peripolaren Elektromotors dipolar gewordenen Anordnung tritt der vom Querschnitt entfernteste und somit positivste der früheren Aequatorpunkte,

---

[1] Es liegt kein wirklicher, nur ein scheinbarer Widerspruch darin, wenn gesagt wird, der Gastroknemius sei nach dipolarem Schema gebaut, und zugleich, es fehlen an ihm die beiden Pole, an deren Vorhandensein das eines Aequators geknüpft sei. Der scheinbare Widerspruch rührt daher, dass bei der ersten Behauptung das Wort Pol im elektrischen oder physikalischen, bei der zweiten im geographischen oder geometrischen Sinne genommen ist.

[2] Den entsprechenden Versuch am Nerven s. in meinen „Untersuchungen" Bd. II. Abtheil. I. S. 252. Taf. II. Fig. 94.

$\Gamma_{,}$, jetzt gleichsam als positiver Pol dem negativen Pol entgegen, den man nach unseren bisherigen Vorstellungen im geometrischen Mittelpunkt $C$ derjenigen Begrenzung zu suchen hat, die durch die beiden an einander stossenden Querschnitte gebildet wird.

Nicht anders am Gastroknemius. Sieht man, der Einfachheit halber, von der verschiedenen Masse seiner beiden Hälften ab, und denkt man ihn sich in der Ebene der sehnigen Scheidewand bis auf die Scheidewand gespalten, so dass seine sonst von einander getrennten Hälften nur noch durch die Scheidewand zusammenhängen, so ist der Gastroknemius auf das Schema des zusammengebogenen Muskels zurückgeführt. Die beiden Hälften des Achillesspiegels entsprechen den beiden aneinanderstossenden Querschnitten, die Hauptsehne dem Punkt $\Gamma'$, der Tibialrand $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$ der sehnigen Scheidewand (Fig. 1. 2. 4. 6.) der in Fig. 9. ebenso bezeichneten Aequatorstrecke, und der ganze vordere, im Muskel verborgene Umfang dieser Scheidewand $\Gamma'K\Gamma_{,}$ (Fig. 6.) der in der Falte des zusammengebogenen Muskels versteckten, in Fig. 9. punktirten und abermals ebenso bezeichneten Aequatorstrecke. So gelangt man zu der Einsicht, d a s s, w e n n a m G a s t r o k n e m i u s v o n e i n e m A e q u a t o r d i e R e d e s e i n s o l l, d i e s e r A e q u a t o r i n d e m U m f a n g d e r s e h n i g e n S c h e i d e w a n d z u s u c h e n s e i. Im Tibialrand $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$ der Scheidewand tritt ein Theil dieses virtuellen Aequators zu Tage. Der vom Querschnitt entfernteste Punkt jenes Randes, etwa die Hauptsehne selber, wird am positivsten sein, und gegenüber dem Mittelpunkt $C$ des Achillesspiegels als negativem Pol die Rolle des positiven Poles übernehmen.

Von hier aus ist es leicht, die elektromotorische Wirksamkeit des Gastroknemius bei verschiedenen Lagen des ableitenden Bogens im Voraus zu bestimmen, wie sie sich nach dem Gesetze des Muskelstromes gestalten muss, falls nicht unbekannte Verwickelungen dazwischen treten.

[538] Liegt erstens das obere Ende des Bogens dem Längsschnitt oder der positiven Zone, das untere dem Querschnitt oder der negativen Zone an, etwa wie die Bögen $1a$, $3a$ in Fig. 1. es vorstellen, so muss ein starker aufsteigender Strom erfolgen. Er muss am stärksten sein, wenn das obere Ende die Hauptsehne, das untere den Mittelpunkt $C$ des Achillesspiegels berührt. Berührt das untere Ende die Achillessehne selber, das obere die Hauptsehne (9. in Fig. 2.), so muss gleichfalls ein Strom im Muskel aufsteigen, da die Achillessehne gleichsam eine Fortsetzung des Bogens bis zur unteren Grenze $G_{,}$ zwischen Längs- und Querschnitt abgiebt. Dieser Strom, schwächer als der vorige, müsste abnehmen und zuletzt verschwinden, wenn das obere Ende von der Hauptsehne fort, am Längsschnitt der Rückenfläche herab, bis zu $G'$, der oberen

Grenze zwischen Längs- und Querschnitt, gerückt würde, so dass schliesslich der Bogen die Stellung 10. in Fig. 2. erhielte.

Liegen zweitens beide Enden dem Längsschnitt allein an, wie in 3*b* Fig. 1., so muss immer noch ein schwacher aufsteigender Strom zugegen sein, weil das obere Ende weiter vom Querschnitt entfernt ist als das untere.

Liegen drittens beide Enden, wie in 1*b*, dem Querschnitt allein an, so wird auch noch ein schwacher aufsteigender Strom da sein müssen, so lange das obere Ende das dem Längsschnitt nähere bleibt, wie in 2*a*. Haben die Enden des Bogens, wie in 2*b*, eine symmetrische Lage zu *C*, so wird der Strom Null sein müssen.

Soweit muss der Gastroknemius, wenn er einen Strom liefert, stets aufsteigend wirken, wie es in meinen 'Untersuchungen' steht (s. oben S. 69), wo ich nur die gewöhnlichen Bedingungen der Ableitung im Auge hatte, über welche mehrere der oben gedachten Fälle, wie 3*b*, 1*b*, 2*a*, 2*b*, schon hinausgehen. Es lassen sich nun aber auch noch besondere Lagen des Bogens angeben, wobei, nach dem Gesetz des Muskelstromes, der unversehrte Gastroknemius absteigend wirken müsste.

Wird der Bogen aus der symmetrischen Lage 2*b* in die 2*c* gebracht, so muss der verschwundene Strom wiederkehren, und [539] zwar absteigend, weil nun das untere Ende das dem Längsschnitt nähere ist. Liegen beide Enden des Bogens über einander an den seitlichen Rändern des Achillesspiegels, so muss der Strom Null sein, oder auf-, oder absteigen, je nachdem beide Spitzen gleich weit von den Rändern, oder die obere, oder die untere die nähere (6. 7. 8. Fig. 2.).

So müsste man auch, bei hinreichender Kleinheit der Berührungsflächen des Bogens mit dem Muskel, von dem an der Tibialfläche sich bis zur Achillessehne hinabziehenden Streif Längsschnitt schwache auf- und absteigende Ströme erhalten, je nachdem man den unteren oder den oberen Ableitungspunkt näher dem einen Rande des Achillesspiegels wählte (2, 3. Fig. 4.). Bei gleicher Entfernung der beiden Punkte entweder von dem einen Rande, oder von beiden Rändern (1. das.), sollte ein sehr schwacher aufsteigender Strom die Regel sein, weil die Ränder des Achillesspiegels nach oben auseinanderweichen, und das obere Ende des Bogens als dem Längsschnitt etwas näher angesehen werden kann.

Ein starker absteigender Strom müsste aber bei der in Fig. 4. mit 4. bezeichneten Anordnung erfolgen, wobei das obere Ende Querschnitt, das untere Längsschnitt berührt. Dass die mit 5. bezeichnete Lage des Bogens, wobei das Umgekehrte stattfindet, einen starken aufsteigenden Strom liefern werde, bedarf nicht der Erwähnung.

Die parelektronomische Schicht wird bei gleicher und mässiger Aus-

bildung auf allen Punkten des natürlichen Querschnittes nur die Stärke des Stromes überall proportional vermindern. Bei sehr hoher Ausbildung kann die Richtung des Stromes verkehrt werden. Bei nicht gleichmässiger Ausbildung auf den verschiedenen Punkten des Querschnittes werden mannigfache Störungen der hier dem unversehrten Gastroknemius vorgezeichneten elektromotorischen Wirkungsgesetze denkbar.

So sieht man deutlich im Einzelnen, was im Ganzen wohl keines Beweises bedurfte, dass eine vollständige Verschiebung der Spannungen an der Muskeloberfläche die tiefe Umwandlung des Baues begleitet, die den Gastroknemius von den regelmässig gefaserten Muskeln trennt; und man ist in Stand ge- [540] setzt, die Gründe zu würdigen, aus denen ich erwähntermaassen bei Aufstellung des Gesetzes des Muskelstromes stets den Gastroknemius aus dem Spiel liess.

### §. IV. Hrn. Budge's Beobachtungen am unversehrten Gastroknemius, die er als dem Gesetze des Muskelstromes zuwiderlaufend bezeichnet, stehen damit im vollkommensten Einklang.

Kehren wir zu Hrn. Budge zurück. Ihn kümmert dies Alles nicht. „Um den Gegenstand nicht zu compliciren", wählt er zur Prüfung des Gesetzes des Muskelstromes, meiner Warnungen ungeachtet, unter allen Muskeln gerade den Gastroknemius. Es ist ja „der in allen physiolo-„gischen Versuchen am häufigsten gebrauchte Muskel". Mit Hülfe des Gastroknemius hat ja Hr. Schwann die Abnahme der Kraft des Muskels mit wachsender Verkürzung, Hr. Helmholtz den zeitlichen Verlauf der Zusammenziehung und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung im Nerven, Hr. Pflüger die Veränderungen der Erregbarkeit im Elektrotonus und das Gesetz der Zuckungen, Hr. Munk den Einfluss der Nerven auf das Absterben der Muskeln, Hr. L. Hermann die Abhängigkeit der Muskelarbeit von der Stärke des Reizes, Hr. Georg v. Liebig die Athmung überlebender, habe ich selber die Säurung absterbender, erwärmter, tetanisirter Muskeln erforscht. Zwar hat keines dieser Dinge erweislich etwas mit der durch das Gesetz des Muskelstromes behaupteten Vertheilung der Spannung an der Muskeloberfläche zu schaffen. Aber gleichviel. Weil der Gastroknemius für jene Versuche am bequemsten war, muss er auch am geeignetsten sein, das Gesetz des Muskelstromes zu zeigen, und tritt es daran nicht in aller Reinheit hervor, so ist das Gesetz falsch. Das ist, auf ihren klaren Ausdruck gebracht, Hrn. Budge's Schlussfolgerung. Er könnte ebenso gut schliessen: Scheere und Pincette,

ein Brillengestell sind für gewisse Zwecke erprobte stählerne Werkzeuge. Da sich daran, wenn man sie magnetisirt, das für lineare gerade Stahlstäbe gültige Gesetz der Vertheilung des freien Magnetis- [541] mus nach der Kettenlinie nicht bestätigt findet, so ist dies Gesetz falsch; und die Pendelgesetze sind auch falsch, weil die Schwingungsdauer eines an seinem Rollschwanz sich schaukelnden Affen der Quadratwurzel aus der Schwanzlänge nicht genau proportional ist.

Hr. Budge nimmt den Gastroknemius zur Hand und stellt damit Hunderte von Versuchen an, ohne dass es ihm auffällt, dass die Bündel daran nur etwa ein bis zwei Siebentel so lang sind, wie der ganze Muskel. Der Anblick der doppelten Fiederung an der Tibialfläche sagt ihm nichts. Er bemerkt nicht, dass der mit dem Achillesspiegel überzogene untere natürliche Querschnitt sich an der Rückenfläche bis nah an die Hauptsehne hinaufzieht; dass von einem oberen Querschnitt nichts zu sehen ist. Vielmehr fasst er die ganze Oberfläche des Muskels als natürlichen Längsschnitt, als natürlichen Querschnitt dagegen die Hauptsehne und die Achillessehne selber (nicht deren Ausbreitung) auf. Das Ungereimte entgeht ihm, dass so dünne Sehnen, ohne Vergrösserung ihrer Oberfläche, nicht Raum bieten würden für den Ansatz einer solchen Menge von Fleischbündeln.

Alles dies übersieht Hr. Budge, obschon er sich zu seinen Untersuchungen über das Wachsthum der Muskeln auch gerade des Froschgastroknemius bedient hat.[1] Mit dem Zirkel (denn stets befleissigt er sich der äussersten 'Exactität') misst er die Mitte des Muskels ab, bezeichnet sie sorgfältig mit einem Stückchen bunten Papiers, legt in gleicher Entfernung davon seine mit destillirtem Wasser getränkten Papierröllchen an, und verlangt von dieser Anordnung, dass sie die Nadel in Ruhe lasse, da er, seiner Meinung nach, Punkte in gleicher Entfernung vom elektromotorischen Aequator ableitend berührt habe. Die Durchschnittsfigur einer auf die Mitte $m$ der Längsaxe $\Gamma' G_{,}$ (Fig. 1.) senkrechten Ebene, deren Projection [542] die Gerade $m'm_{,}$ in Fig. 1. 2. 3. 4. zeigt, mit der Muskeloberfläche, hält Hr. Budge für den elektromotorischen Aequator; unbekümmert darum, dass zu beiden Seiten jener Ebene jede Symmetrie im Bau des Muskels fehlt, und dass jene Durchschnittsfigur an der Tibialfläche über den doppelt gefiederten natürlichen

---

[1] Wunderlich's Archiv für physiologische Heilkunde. 1858. N. F. Bd. II. S. 71; — Comptes rendus etc. 11 Octobre 1858. t. XLVII. p. 587; — Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1859. Bd. VI. S. 40; — Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. R. Bd. XI. S. 305.

Längsschnitt (Fig. 4.), an der Rückenfläche über den natürlichen Querschnitt (Fig. 3.) fortgeht. Er sagt deshalb auch nicht einmal, ob seine Röllchen der Tibial- oder der Rückenfläche oder einer der Seitenflächen anlagen, geschweige wie gross ihr Abstand von einander und ihre Berührungsfläche mit dem Muskel war, sondern begnügt sich mit der erstaunten Meldung, dass in 19 solchen Versuchen ein starker aufsteigender Strom erfolgt sei, der an seinem Multiplicator 40—80° 'constanten Ausschlages' (*sic*) gab.[1]

Diesen Erfolg stellt Hr. Budge an die Spitze der Thatsachen, womit er gegen das Gesetz des Muskelstromes zu Felde zieht. Er hätte nicht unglücklicher wählen können. Allem Vermuthen nach lagen die Bäusche der Rückenfläche an, deren Wölbung sich am bequemsten zur Ableitung darbietet. Je nach dem Abstand der Röllchen wird alsdann die Anordnung des Hrn. Budge durch die Bögen 1*a* und 1*b* in Fig. 1. vorgestellt. Wir wissen bereits (s. oben S. 76), dass in beiden Fällen nach dem Gesetze des Muskelstromes ein aufsteigender Strom erfolgen muss, da, um es noch einmal zu sagen, im ersten Falle das obere Ende des Bogens Längsschnitt, das untere Querschnitt, im zweiten das obere einen dem Längsschnitt näheren, das untere einen davon entfernteren Punkt des Querschnittes berührt. Wenn demnach hier etwas unverständlich bleibt, so ist es in der That nur, wie nach den Verhandlungen der letzten zwanzig Jahre der Erfolg dieses Versuches Hrn. Budge habe überraschen können. Hätte Hr. Budge meine 'Untersuchungen' mit der Aufmerksamkeit gelesen, die man Arbeiten schuldet, deren Ergebnisse man in Frage stellt, ja hätte er nur einmal die Kupfer zum ersten Bande durchgesehen, es wäre ihm nicht entgangen, dass sein Versuch sich darin längst ausdrücklich [543] beschrieben, abgebildet und erklärt,[2] ausserdem aber unzählige Mal nebenher angestellt findet, da man jene Anordnung bei hundert Gelegenheiten trifft, also z. B., wenn nicht besondere Zwecke es anders erheischen, jedesmal, dass man die negative Schwankung beobachten will.

„Hingegen wird man finden", fährt Hr. Budge fort, „dass wenn der „eine Bausch nahe der Achillessehne, der andere nur wenig davon entfernt liegt, der Ausschlag immer bedeutend geringer ist, als in dem „ersten Falle, manchmal ganz ausbleibt. Hier sind die Entfernungen „vom Aequator aber ungleich, müssten also nach Hrn. Dubois grössere „Ausschläge als in jenem Falle geben; wovon aber in Wirklichkeit das

[1] Erste vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 207.

[2] A. a. O. Bd. I. S. 512. Taf. IV. Fig. 27. — Vergl. Taf. II. S. 22; — Bd. II. Abth. I. Taf. I. Fig. 86.

„Umgekehrte vorkommt.“ Auch hier fehlt die Angabe der Fläche des Muskels, von der die Ableitung geschah; doch wird es wohl wieder die Rückenfläche gewesen sein. Ist es nöthig zu wiederholen, was schon der vorige Paragraph uns gelehrt hat, dass, da jetzt die Bäusche auf Querschnitt allein nach dessen Mittelpunkt zu rückten, etwa in die mit 2*a*, 2*b* bezeichneten Stellungen in Fig. 1., der Strom ganz natürlich schwächer ausfiel als vorher, ja Null ward; und sieht nicht Jeder, dass, wenn hier etwas dunkel bleibt, es nur ist, wie Hrn. Budge der absteigende Strom nicht aufstiess, auf den er, bei immer tieferem Hinabrücken der Bäusche, bis zu 2*c*, zuletzt treffen musste?

Nur noch einen Versuch am unverletzten Gastroknemius beschreibt Hr. Budge. „Die Muskelsehnen“, heisst es a. a. O. unter 4. S. 209, „bezeichnet Hr. Dubois bekanntlich als natürliche Querschnitte; und „ebenso wie ein Strom vom Längsschnitt zum künstlichen Querschnitt „hingeht, soll ein solcher zwischen Längsschnitt und Sehne bestehen; so „dass jener positiv im Multiplicatordraht[1] gegen diese ist. In den Hun„derten von [544] Versuchen, welche ich angestellt habe, ist es mir nicht „einmal vorgekommen, dass ein Längsschnitt gegen die Sehne des „oberen Endes vom M. gastrocnemius (im Multiplicatordraht) sich positiv „verhalte, sondern ausnahmslos, dass der Strom von der oberen Sehne „nach dem Längsschnitt hinging, als gerade umgekehrt, wie es das Gesetz „des Hrn. Dubois vorschreibt.“ Mit Längsschnitt ist hier, wie aus dem Vorigen erhellt (s. oben S. 79), die ganze Oberfläche des Muskels gemeint, ohne Rücksicht darauf, dass der grösste Theil dieser Oberfläche natürlicher Querschnitt ist. Die Anordnung war je nach dem Abstand der Röllchen die in Fig. 1. mit 3*a*, oder die daselbst mit 3*b* bezeichnete; und der Erfolg ist, wie wir schon wissen, in beiden Fällen völlig dem Gesetz entsprechend, da beide Male der obere Bausch dem vom Querschnitt entferntesten Punkte, der untere im Falle 3*a* dem Querschnitt selber, im Falle 3*b* wenigstens einem dem Querschnitt näheren Punkte anlag. Hr. Budge hätte sich übrigens seine Hunderte von Versuchen sparen können. Auf S. 8 des Pflüger'schen Werkes über den Elektrotonus (Berlin, 1859), welches auch sonst noch nützliche Winke für ihn

---

[1] Hier giebt Hr. Budge (vergl. oben S. 64 Anm. 1) die Vertheilung der Spannungen richtig an. Er findet aber für nöthig hinzuzusetzen: „im Multiplicatordraht“, vermuthlich weil ihm unklar vorschwebt, dass man bei Angabe der Strömungsrichtung zwischen zwei Punkten des Kreises entweder an die eine oder an die andere Hälfte desselben, an die Kette entweder oder an den Multiplicatordraht, denken kann. Dass die Vertheilung der Spannungen an der Kette nichts dergestalt Willkürliches, sondern etwas von der Natur Gegebenes sei, scheint ihm nicht deutlich zu sein.

enthält (vergl. das. S. 157), findet sich auch diese Beobachtung, nach einer mündlichen Mittheilung von mir, bereits erwähnt und erklärt.

§. V. Der unversehrte Gastroknemius vom Frosch zeigt wirklich einige Eigenthümlichkeiten seiner elektromotorischen Wirkung, die aber Hrn. Budge gänzlich entgangen sind, welche beim ersten Blick ausserhalb des Gesetzes des Muskelstromes zu stehen scheinen.

Man sieht hieraus, wie der kleinste Aufwand von Nachdenken und Aufmerksamkeit hingereicht hätte, um Hrn. Budge's Beobachtungen am unversehrten Gastroknemius mit dem [545] Gesetze des Muskelstromes in befriedigenden Einklang zu bringen. Ich meinerseits hätte mich füglich mit einer Widerlegung seines sinnlosen Angriffes auf Grund meiner älteren Wahrnehmungen begnügen können, wie sie im Vorigen enthalten ist. Da ich aber mittlerweile in den Besitz neuer und den früheren weit überlegener Verfahrungsarten gelangt war, so habe ich selber bei dieser Gelegenheit die Erforschung des Gastroknemius in elektromotorischem Bezuge wieder aufgenommen. Ich bin dabei auf Eigenthümlichkeiten in seiner Wirkungsweise gestossen, der Art, dass wenn Hr. Budge, dem sie aber gänzlich entgangen sind, sie als dem Gesetze des Muskelstromes zuwiderlaufend bezeichnet hätte, dies wohl zu verzeihen gewesen wäre. Es ist nicht wenig bezeichnend, dass Hr. Budge Züge in dem elektromotorischen Verhalten des Gastroknemius, die ganz leicht nach dem Gesetze des Muskelstromes zu erklären waren, als damit im Widerspruch hingestellt hat, während er sich jene Eigenthümlichkeiten entgehen liess, die beim ersten Blick wirklich damit unverträglich zu sein scheinen. Uebrigens ist es mir alsbald geglückt, den Schlüssel zu diesen scheinbaren Abweichungen zu entdecken, so dass sich schliesslich daraus, statt einer Untergrabung, vielmehr eine Befestigung des Gesetzes ergeben hat.

Die neue Versuchsweise, die mir hier gedient hat, ist in der oben S. 66 Anm. 4. angeführten Abhandlung über Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken ausführlich beschrieben und durch Abbildungen erläutert.[1]

An Stelle der Zuleitungsgefässe mit ihren Bäuschen u. s. w. treten mit Zinklösung gefüllte, ein verquicktes Zinkblech enthaltende, platte Glasröhren,[2] welche mittels Kugelgelenks [546] allerwärts beweg-

---

[1] S. daselbst S. 95; — Taf. III. Fig. 2. 2a. — Vergl. Bd. I. S. 163; — Taf. III. 2. 2a.

[2] Seit dem Druck der eben erwähnten Abhandlung bin ich auf einen weiteren Vortheil der platten Röhren aufmerksam geworden, dass man nämlich wegen der

lich, unten durch Bildhauerthon verschlossen sind, der mit einer 0·75 procentigen Kochsalzlösung angeknetet ist. Diesen Thonstiefeln, wie man sie in Jena genannt hat, kann man in jedem Augenblick jede für die Ab- und Zuleitung von Strömen von und zu den thierischen Theilen dienliche Gestalt geben. Im vorliegenden Falle knetet man sie zu feinen Spitzen aus und berührt damit die Punkte des Muskels, deren elektromotorisches Verhalten man zu erforschen wünscht. Eine gute Art, den Muskel dabei zu unterstützen, besteht darin, ihn auf die gewölbte Fläche eines Uhrglases zu legen, welches mit schwarzem Kitt ausgegossen ist Es hat keine Schwierigkeit, beide Spitzen innerhalb eines Bezirks von nur wenigen Quadratmillimetern dem Muskel anzulegen, und so z. B. das elektromotorische Verhalten der verschiedenen Punkte des Querschnittes eines Froschmuskels gegen einander zu bestimmen. Doch erleichtert es die Versuche sehr, wenn man über etwas grosse Frösche gebietet.

Im Kreise der Röhren befand sich bei diesen Versuchen die Wiedemann'sche Spiegelbussole mit 6 bis 12000 Windungen, deren Spiegel nach Bedürfniss mittels des Haüy'schen Verfahrens astatisch gemacht wurde; ein Schlüssel, der den Kreis immer erst schloss, nachdem den Thonspitzen ihre Stellung am Muskel ertheilt und das Auge dem Fernrohr genähert war; ausserdem aber der von mir in der erwähnten Abhandlung beschriebene Compensator. Letzterer diente theils, um mittels eines von einem Daniell abgeleiteten Stromzweiges etwa auftauchende Ungleichartigkeiten der Ableitungsröhren aufzuwiegen, theils um gelegentlich statt der Stromstärke die elektromotorische Kraft der Muskeln nach dem von mir angegebenen Verfahren zu bestimmen, welches dies wichtige Element, gleich dem Zeug an der Elle, durch eine einzige Able-
[547] sung unmittelbar zu messen erlaubt.[1] Soviel wie möglich wurden die Versuche im feuchten Raum angestellt.

---

Capillarität die Röhren wagerecht stellen, ja hintenüber neigen kann, ohne dass die Lösung ausfliesst. [Vergl. Bd. I. S. 165.]

In der Abhandlung ist gesagt, man solle, um die Zinklösung in der Röhre vor Verunreinigung mit der verdünnten Kochsalzlösung des Thonstiefels zu schützen, die untere Mündung zuerst mit Fliesspapier verstopfen, welches mit der Zinklösung getränkt ist. Viel besser ist es, sie mit Thon zu verschmieren, der mit der Zinklösung angeknetet ist. Ueber diesen Verschluss kommt dann erst der zur Berührung der thierischen Theile bestimmte, mit der verdünnten Kochsalzlösung angeknetete Thonstiefel. [Vergl. Bd. I. S. 166. Anm. 1.]

[1] Das Princip, worauf dies Verfahren sich gründet, ergiebt sich unmittelbar mit Hülfe des Satzes, den Hr. Bosscha aus den Kirchhoff'schen Sätzen über Verzweigung der Ströme (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 513; — 1847. Bd. LXXII. S. 497) abgeleitet hat, dass nämlich ein Zweig einer Leitung, in dem kein Strom kreist, ohne Aenderung des Strömungsvorganges mit einer etwa

[548] Berühren die Spitzen an der Rückenfläche die eine den Längs-, die andere den Querschnitt (1*a*, 3*a* Fig. 1.), so giebt sich nichts

---

in dem Zweige befindlichen elektromotorischen Kraft entfernt und wieder hinzugebracht, oder während seiner Anwesenheit als nicht vorhanden angesehen werden kann. (Ebenda, 1858. Bd. CIV. S. 460; — vergl. WIEDEMANN, die Lehre vom Galvanismus. 2. Aufl. Braunschweig 1872. S. 165. §. 108. 1.) Danach hat man für den Fall des Gleichgewichtes in der Nebenleitung $\lambda$ die Stromstärke $I_\lambda = \frac{E}{C}$, nach dem die geschlossenen Figuren betreffenden KIRCHHOFF'schen Satz also in dem den Multiplicator u. s. w. enthaltenden Umgang: $Null \times M + \frac{E}{C} \cdot \lambda = y$, $y = \frac{E}{C} \cdot \lambda$, w. z. b. w.

Von hier aus gelangt man auch leicht dazu, den Grund der Proportionalität zwischen $y$ und $\lambda$ zu verstehen. Denken wir uns zuerst den Multiplicatorkreis mit der darin befindlichen zu messenden elektromotorischen Kraft entfernt. Im Nebenschliessdraht sind die Spannungen oder die Potentialwerthe der Elektricität so abgestuft, dass deren Unterschied an zwei Punkten des Drahtes dem Abstande dieser Punkte von einander proportional ist. Nun sei die Aufgabe gestellt, den Nebenschliessdraht an zwei Punkten mit den Enden des Multiplicatorkreises zu berühren, ohne dass ein Strom in diesem Kreise entstehe, also auch ohne dass die Spannungen auf dem Nebenschliessdraht eine Aenderung erleiden. Die Bedingung dafür wird sein, dass im Multiplicatorkreise eine elektromotorische Kraft herrsche, von gleicher Grösse mit dem Spannungsunterschiede der beiden berührten Punkte, aber von entgegengesetztem Zeichen. Alsdann wird in den beiden Abschnitten des Multiplicatorkreises jederseits vom Sitze der Kraft das Potential constant und von gleichem Werthe wie an dem Punkte des Nebenschliessdrahtes, den das freie Ende des betreffenden Abschnittes berührt, und es geht bei der Berührung Elektricität weder vom Nebenschliessdraht auf den Multiplicatordraht, noch von diesem auf jenen über. Da aber dergestalt die Abstufung der Spannungen auf dem Nebenschliessdraht ungeändert bleibt, so wird die elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise um so grösser sein müssen, je weiter von einander im Nebenschliessdraht die Punkte gewählt werden, die der Multiplicatorkreis mit seinen Enden berührt. Umgekehrt, je grösser eine gegebene elektromotorische Kraft im Multiplicatorkreise ist, um so weiter von einander entfernte Punkte des Nebenschliessdrahtes müssen die Enden des Multiplicatorkreises berühren, wenn darin Gleichgewicht bestehen bleiben soll; und so wird die zur Erzielung des Gleichgewichtes im Multiplicatorkreise aufgewendete Länge des Nebenschliessdrahtes ein unmittelbares Maass der in jenem Kreise herrschenden elektromotorischen Kraft. Der Widerstand des Multiplicatorkreises kommt dabei deshalb nicht in Betracht, weil darin keine Bewegung, soodern nur statische Vertheilung der Elektricität stattfindet.

Ich habe auch noch die Bemerkung nachzuholen, wie das Compensationsverfahren sich gestaltet, wenn ausser der zu messenden elektromotorischen Kraft $y$ (der des Muskels oder Nerven) noch eine andere $x$ (eine Ungleichartigkeit der Zuleitungsgefässe) im Multiplicatorkreise vorhanden ist. Man sieht sogleich, dass man die $x$ entsprechende Länge der Nebenleitung $\lambda_,$ von der $y + x$ entsprechenden $\lambda_{,,}$ algebraisch abzuziehen hat, da wegen der Proportionalität zwischen der elektromoto-

Auffallendes kund. Es erfolgt, wie wir schon wissen, ein starker aufsteigender Strom. Liegen dagegen die Spitzen beide dem Achillesspiegel an, so trifft das oben S. 76 Vorhergesagte nur zum Theil ein. Danach sollte, bei symmetrischer Lage der Spitzen zum Mittelpunkte $C$, der Strom Null sein. Bei jeder anderen Lage sollte zu der dem Längsschnitt näheren Spitze ein schwacher Strom einkehren. Es sollte also z. B. ein Strom im Muskel absteigen, sobald von den in ungleicher Höhe befindlichen Spitzen die untere die dem Längsschnitt nähere ist (s. oben a. a. O. S. 81 und 2$c$ Fig. 1.). Liegen beide Spitzen am Achillesspiegel in gleicher Höhe neben einander, so ist, bei gleichem Abstande der Spitzen von der Medianebene, der Strom auch wirklich Null, und bei seitlichem Verrücken der Spitzen entsteht ein Strom [549] wie die Theorie es verlangt. Liegen aber die Spitzen über einander, etwa in der Medianebene, wie in Fig. 1. und 2., so gestalten sich die Dinge nicht, wie wir uns bisher dachten, oder wie es in der ersten Figur, sondern so, wie es in der zweiten vorgestellt ist. In der Lage 1. Fig. 2., wo ein schwacher Strom im Muskel aufsteigen sollte, erfolgt nämlich ein verhältnissmässig zu starker aufsteigender Strom. In der zu $C$ symmetrischen Lage 2., entsprechend 2$b$ Fig. 1., wo der Strom Null sein sollte, erhält man immer noch einen kräftigen aufsteigenden Strom, dessen Stärke mit der Spannweite des Bogens wächst. In der 3., entsprechend 2$c$ Fig. 1., wo der Strom absteigen sollte, ist er immer noch aufsteigend, obwohl schwächer als in der 2. Der aufsteigende Strom verschwindet erst in einer Lage wie etwa 4. Endlich erst in der Lage 5. erhält man einen stets nur sehr schwachen absteigenden Strom. Ja es kommt vor, dass entweder die beiden letzteren Fälle, oder wenigstens deren zweiter, gar nicht eintreffen, vielmehr der Strom, beim Verschieben des Bogens bis zur Achillessehne, zuletzt nur verschwindet, ohne sich umzukehren, oder gar bis zuletzt, wenn auch nur spurweise, vorhanden und aufsteigend bleibt. Nähert man sich mit den beiden in ungleicher Höhe befindlichen Spitzen den seitlichen Rändern des Achillesspiegels, so ist nicht die den Rändern nähere Spitze stets die positive, wie sie sollte. Vielmehr ist stets die obere auffallend stark positiv gegen die untere. Der dadurch bewirkte aufsteigende Strom verschwindet nicht bei gleichem Abstand der Spitzen von den Rändern (6. Fig. 2.), und wird nur sehr unbedeutend

---

rischen Kraft im Multiplicatorkreise und der Nebenleitung im Fall des Gleichgewichtes, $x = const. \times \lambda_{,}$, $y + x = const. \times \lambda_{,,}$, folglich $y = const. \times (\lambda_{,,} - \lambda_{,})$ ist. Um ohne den compensirenden Strom umzusetzen sich von der Constanz von $x$ überzeugen zu können, gebe man aber $y$ einerlei Richtung mit $x$. [Vergl. über den Inhalt dieser Anmerkung Abh. X. im ersten und Abh. XXI. §. II. in diesem Bande.]

verstärkt oder geschwächt, nie umgekehrt; wenn man beziehlich die obere oder die untere Spitze dem Rande nähert (7. 8. das.).

Begiebt man sich mit den Spitzen auf den Streif Längsschnitt an der Tibialfläche, so erhält man richtige Ströme abermals nur, wenn beide Spitzen in gleicher Höhe sind, was bei der Enge des Raumes ein schwerer Versuch ist. Sind die Spitzen in ungleicher Höhe, so passt Alles von ihrem Verhalten am Achillesspiegel nahe dessen Rändern Gesagte mit den nöthigen Abänderungen auch hierher. Stets ist die obere Spitze stark positiv gegen die untere. Der dadurch bewirkte [550] aufsteigende Strom verschwindet nicht bei gleichem Abstand der Spitzen von den Rändern (1. Fig. 4.), und wird nur sehr unbedeutend verstärkt oder geschwächt, nie umgekehrt, wenn man beziehlich die untere oder die obere Spitze dem Rande nähert (2. 3. das.).

Aber als noch viel fremdartiger erscheint es nunmehr, dass auch der scheinbar so sichere Schluss nicht zutrifft, wonach man zwischen Längs- und Querschnitt des Gastroknemius nach Belieben einen starken absteigenden Strom erhalten müsste, wenn man in der in Fig. 4. bei 4. vorgestellten Art die obere Spitze dem Querschnitt, die untere dem Längsschnitt anlegte. Aeusserst selten hat der Strom die verlangte Richtung, und wenn je, so ist er doch nur von sehr geringer Stärke. Meist ist der Strom aufsteigend, d. h. unerhörter Weise verhält sich der Längsschnitt, statt positiv, negativ gegen den Querschnitt. Der erste Gedanke bei diesem Anblick ist, man habe es mit der Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt durch die parelektronomische Schicht zu thun.[1] Allein erstens findet man den Strom in der richtigen Richtung vor, sobald die Spitze am Längsschnitt höher oder nur um eine gewisse nicht näher zu bestimmende Grösse niedriger liegt als die am Querschnitt (5. 6. Fig. 4.); zweitens behält der verkehrte Strom nicht allein seine Richtung, sondern nimmt noch an Stärke zu, wenn die parelektronomische Schicht durch Eintauchen des Muskels in eine entwickelnde Flüssigkeit, z. B. Kochsalzlösung, zerstört wird.

An diese Deutung ist also nicht zu denken. Dagegen werden allerdings sämmtliche hier beschriebene Unregelmässigkeiten im elektromotorischen Verhalten unseres Muskels verständlich unter der Annahme eines darin aufsteigenden Stromes, der sich algebraisch zu den durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten Strömen hinzufügt, wie der Zuwachs [551] im Elektrotonus zum ursprünglichen Nervenstrom, die aufsteigen-

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 34 ff.; — Monatsberichte der Akademie 1851. S. 392; — Die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851 u. s. w. Berlin 1855. S. 164.

den verstärkt, die absteigenden schwächt, ja überwiegt. Für die Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Achillesspiegels erhellt dies deutlicher aus Fig. 10. A. Taf. II. Hier bedeutet die Abscissenaxe $G'CG_{\prime}$ den Durchschnitt der Medianebene mit dem Achillesspiegel, die Ordinaten der punktirten Curve $M'CM_{\prime}$ sind die positiven Spannungen (Potentialwerthe) der zugehörigen Punkte der Oberfläche, wie sie nach dem Gesetze des Muskelstromes sein sollten, die der gestrichelten, der Einfachheit halber als Gerade gedachten Curve $NC'G_{\prime}$ die Spannungen, welche dem vorausgesetzten aufsteigenden Strom zu Grunde liegen, endlich die der ausgezogenen Curve $RC'M_{\prime}$ die resultirenden Spannungen. Denkt man sich zwei beliebige Punkte der Abscissenaxe durch einen Bogen verknüpft, so geht durch den Bogen in der Richtung von dem Punkte, dem die grössere, zu dem Punkte, dem die kleinere Ordinate zugehört, ein Strom, dessen Stärke bei gleichem Widerstande durch den Unterschied der zugehörigen Ordinaten bemessen wird.[1] Die Figur zeigt, wie sich diese Unterschiede in fünf Fällen gestalten, in welchen die Punkte auf der Abscissenaxe die gleiche Lage haben, wie die Fusspunkte des Bogens in Fig. 2., und man überzeugt sich leicht, dass die Ordinatenunterschiede

---

[1] Ich stellte früher das Gesetz der elektromotorischen Thätigkeit der Nerven und Muskeln graphisch so dar, dass ich mir längs der Abscissenaxe, — der entwickelten Durchschnittsfigur einer durch die Muskel- oder Nervenaxe gelegten Ebene mit der Muskel- oder Nervenoberfläche, — einen Bogen von willkürlicher aber beständiger Spannweite verschoben dachte, und bei jeder Stellung des Bogens auf die Mitte seiner Spannweite die Stärke des im Bogen gegenwärtigen Stromes als Ordinate auftrug. Diese Darstellung hat das für sich, dass sie der reine Ausdruck der Beobachtung ist. Sie gilt aber nur für eine bestimmte Spannweite, und sie giebt von der Vertheilung der Spannungen an der Oberfläche der thierischen Elektromotore, welche doch das eigentlich zu Erforschende ist, nur mittelbar Rechenschaft unter Einmischung eines willkürlichen Elementes, der gewählten Spannweite, und einer nach unbekanntem, verwickeltem Gesetze schwankenden Veränderlichen, des Widerstandes. Es ist daher für manche Zwecke besser, sich der oben gebrauchten Darstellung zu bedienen, wobei die Ordinaten unmittelbar die Spannungen der zugehörigen Punkte der 'elektromotorischen Oberfläche des Muskels' im Helmholtz-schen Sinn angeben (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 217). Die neue Darstellung umfasst, wie man leicht bemerkt, zugleich das Gesetz der Spannweiten, welches sich der älteren entzieht (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 695). Beachtung verdient, dass in Fig. 10. A. willkürlich die Muskelstrom-Spannung positiv und im Punkte $C =$ Null gemacht ist, da nach meiner Anschauung vielmehr die des Aequators ein negatives Minimum, die der Pole ein solches Maximum sein würde. Ebenso willkürlich ist die absolute Grösse der neu hinzutretenden Spannungen (der Ordinaten der Curve $NC'G_{\prime}$) gewählt. Die Figur wurde so am verständlichsten, während es wesentlich hier nur auf die algebraische Summe der Steilheiten der beiden Curven in jedem Punkt ankam, welche von der absoluten Höhe der Ordinaten der Curven unabhängig ist.

der Grösse und dem Zeichen nach mit der Stärke und Richtung der Ströme übereinkommen, wie sie oben S. 85. 86. angegeben sind. Der Fall, wo es beim Verschieben [552] des Bogens bis zur Achillessehne nicht gelingt, den Strom verschwinden, geschweige sich umkehren zu sehen, erklärt sich durch verhältnissmässig grössere Steilheit der neu hinzutretenden Curve, als sie in der Figur angenommen worden ist. Die resultirende Curve hat alsdann kein Minimum mehr, oder die Dinge gestalten sich wenigstens so, dass der Abstand $\alpha G_{,}$ (s. die Figur) kleiner, oder so klein ist wie der kleinste Abstand, den man den Thonspitzen zu ertheilen vermag.

Im Einklange mit dieser Theorie ist der Erfolg nachstehenden Versuches. Es heissen $Q_h$, $Q_t$, $L_h$, $L_t$ beziehlich zwei am Querschnitt (dem Achillesspiegel), und zwei am Längsschnitt (der Tibialfläche) hoch und tief gelegene Punkte. Ist $m$ die Stärke des Muskelstromes zwischen $Q_{h,t}$ und $L_{h,t}$, und $n$ die des vorausgesetzten aufsteigenden Stromes, so steht zu erwarten

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| zwischen | $L_h$ | und | $Q_t$ | im | Bogen | 5. | Fig. 4. | die | Stromstärke | $n+m$, |
| „ | $L_h$ | „ | $L_t$ | „ | „ | 1. | „ | „ | „ | $n$, |
| „ | $Q_h$ | „ | $Q_t$ | „ | „ | 7. | „ | „ | „ | $n$, |
| „ | $Q_h$ | „ | $L_t$ | „ | „ | 4. | „ | „ | „ | $n-m$. |

Mit anderen Worten: es muss die Stromstärke in den beiden mittleren Fällen die Mitte halten zwischen der grösseren Stromstärke im ersten und der kleineren im vierten Falle. Dies trifft sehr regelmässig zu.

[553] Es ist endlich unmöglich, sich hier nicht noch einer Thatsache zu erinnern, auf welche ich längst, als nicht gut erklärbar aus dem Gesetze des Muskelstromes, aufmerksam gemacht habe.[1] Ich meine die grosse Stärke des aufsteigenden Stromes, den man vom Gastroknemius erhält, wenn man einerseits die Haupt-, andererseits die Achillessehne mit den Multiplicatorenden berührt (6. Fig. 2.), also gerade bei einer Anordnung, deren ich mich unzähligemal bedient habe: zu den Versuchen über den Einfluss der Dehnung und Zusammendrückung auf den Strom, über die negative Schwankung am gedehnten und zusammengedrückten Muskel, vorzüglich aber zur Untersuchung über die parelektronomische Schicht, deren Enträthselung sonst ganz unmöglich gewesen wäre. Dass bei dieser Anordnung ein aufsteigender Strom erscheint, ist an sich verständlich und bereits oben S. 76 aus dem Gesetz abgeleitet worden. Aber der Strom sollte an Stärke vergleichbar sein den schwachen Strömen des Längsschnittes, während er in Wirklichkeit dem Strome zwischen Längs- und Querschnitt gleicht. Er sollte ferner, wie bereits oben a. a. O.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 512.

verlangt wurde, verschwinden, wenn die obere Spitze der oberen Grenze $G'$ zwischen Längs- und Querschnitt angelegt wird (10. Fig. 2.). Dies trifft nicht ein, vielmehr bleibt der Strom in grosser Stärke bestehen. Nimmt man an, dass im Gastroknemius ein aufsteigender Strom aus anderer Ursache sich zum Muskelstrom hinzufügt, so würde auch dieser Umstand erklärt sein. Der zu $G'G_{\prime}$ gehörige Ordinatenunterschied $RM' = NG'$ (11. Fig. 10. *A*) stellte dann unmittelbar den Spannungsunterschied im Falle 10. Fig. 2. vor.

Und so sind wir selber, merkwürdig genug, zu Thatsachen gelangt, wodurch Hrn. Matteucci's durch Hrn. Budge aufgefrischte Lehre von einem im Gastroknemius des Frosches aufsteigenden 'Courant propre', der mit Längs- und Querschnitt nichts zu schaffen habe, die erfahrungsmässige Grundlage zu erhalten scheint, deren sie bisher entbehrte, da die Wahrnehmungen, worauf ihre Urheber fussten, sich, wie ge- [554] zeigt wurde, leicht auf den Muskelstrom zurückführen lassen. Inzwischen auch abgesehen davon, dass Hr. Budge von den hier mitgetheilten Thatsachen, welche zur Annahme des aufsteigenden Stromes im Gastroknemius nöthigen, keine gekannt hat, ist zwischen unserer und seiner Vorstellung von einem solchen Strome der Unterschied, dass er am unversehrten Muskel den Muskelstrom leugnet und an seine Stelle den 'Courant propre' setzt, während wir jetzt erfahren haben, dass zu dem sich sonst bis in seine feinsten Züge bewährenden Gesetze des Muskelstromes am unversehrten Gastroknemius scheinbar noch das Gesetz hinzutritt, wonach höher gelegene Punkte sich positiv gegen tiefer gelegene verhalten.

Ich betone dies ausdrücklich und erhebe im Voraus Einsprache gegen jeden Versuch, den von mir im Gastroknemius wahrgenommenen aufsteigenden Strom mit dem von Hrn. Budge darin auf irrthümlicher Grundlage behaupteten für einerlei auszugeben, oder diese Einerleiheit durch deren stillschweigende Voraussetzung zur Geltung zu bringen, und so Hrn. Budge den Nachweis des im Gastroknemius aufsteigenden Stromes, oder wenigstens einen Antheil daran, zuzuschreiben. Hr. Budge hat zwar vor mir angegeben, dass sich am Gastroknemius der Längsschnitt stellenweise negativ gegen den Querschnitt verhalte. Leider für ihn gehört aber der Punkt, den er als Längsschnitt bezeichnet, dem Querschnitt, und der Punkt, den er als Querschnitt bezeichnet, dem Längsschnitt an. Hr. Budge hat somit, es sei aus guten Gründen hier vorweg gesagt, an der Entdeckung des im Gastroknemius aufsteigenden Stromes gerade soviel Anrecht, wie der Nachbar, der, weil er eine Katze für einen Hasen nimmt, dem Bauer zuruft, es sei ein Hase in seinem Kohl, an dem Hasen, den der Bauer nachher wirklich schiesst.

Wenden wir uns jetzt zum Muskelkopfe. Nach dem Gesetz (s. oben

S. 77) sollten sich einfach die vom Achillesspiegel entfernteren Punkte des den Muskelkopf allseits begrenzenden Längsschnittes positiv verhalten gegen die dem Spiegel näheren, mit anderen Worten, man sollte zwischen zwei beliebigen, aber ungleich hoch gelegenen Punkten des Muskelkopfes [555] einen aufsteigenden Strom finden. Diese Schlussfolge setzt jedoch so grosse Berührungsflächen des Bogens mit dem Muskel voraus, dass die kleinen natürlichen Querschnitte, welche unter der Haupt- und Nebensehne verborgen liegen, keinen merklichen Einfluss ausüben. Für Hülfsmittel von solcher Feinheit, wie wir sie jetzt anwenden, trifft dies nicht mehr zu.

Liegt die eine Spitze der Hauptsehne, die andere einem wenige Millimeter darunter am Umfange des Muskelkopfes gewählten Punkte des Längsschnittes an, so erfolgt häufig ein im Muskel absteigender Strom, der wenige Scalentheile Ausschlag bewirkt, d. h. die Hauptsehne verhält sich schwach negativ gegen jenen Punkt. Erst wenn man letzteren ansehnlich tiefer, oder dem Achillesspiegel näher wählt, wird er der negativere, und der Strom aufsteigend.

Hiernach, und nach den neuen auf den Achillesspiegel bezüglichen Ermittelungen, ändert sich beiläufig das, was oben S. 76 über den Einfluss der Spannweite des Bogens auf die Stärke des Stromes zwischen Längs- und Querschnitt vorhergesagt wurde. Danach sollte der stärkste Strom stattfinden zwischen der Hauptsehne und dem Mittelpunkte *C* des Achillesspiegels. Jetzt, wo wir wissen, dass dieser Mittelpunkt nicht der negativste Punkt des Achillesspiegels, und die Hauptsehne nicht der positivste Punkt des Muskelkopfes ist, lässt sich vorhersehen, und der Versuch bestätigt es, dass zur Erzeugung des stärksten Stromes nicht diese Punkte mit einander zu verknüpfen sind, sondern die wirklich am Muskelkopf und dem Achillesspiegel beziehlich als der positivste und negativste erkannten, nämlich am Muskelkopf ein etwas unter der Hauptsehne. und am Achillesspiegel ein tiefer als dessen Mitte gelegener Punkt.

Wie die Hauptsehne, zeigt sich auch die Nebensehne schwach negativ gegen den umgebenden Längsschnitt, regelmässig wenigstens gegen diejenigen seiner Punkte, welche mit ihr in gleicher Höhe liegen; und soweit erscheint am Muskelkopf Alles in der Ordnung. Weit entfernt davon, dass dies Abweichungen vom Gesetze des Muskelstromes wären, kann man in dem wirklich geführten Nachweis der Negativität so kleiner und [556] so versteckter natürlicher Querschnitte nur eine sprechende Bestätigung jenes Gesetzes sehen.[1] Man könnte höchstens [557] fragen,

---

1) Ich habe schon früher (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 350) anders bewiesen, dass die Nebensehne sich als Theil des oberen natürlichen Quer-

weshalb diese Querschnitte sich nur schwach negativ verhalten und nicht vielmehr so stark wie der Achillesspiegel. Darauf lässt sich antworten, dass erstens, welche Mühe man sich auch gebe, mit der Thonspitze den elektrischen Zustand nur des Querschnittes zu erforschen, dies doch vermuthlich nicht gelinge, namentlich nicht an der Hauptsehne, wo der Querschnitt unter einer dicken Masse von Sehnengewebe versteckt sei; und dass zweitens Haupt- und Nebensehne sich vielleicht ebenso negativ verhalten, wie Punkte des Achillesspiegels, die dessen äussersten Saum bilden und so nah wie jene dem Längsschnitt sind.

Ueber diesen Umstand wird man also fortsehen dürfen. Allein der

---

schnittes des Gastroknemius verhält. Ich schloss den Kreis zwischen Haupt- und Achillessehne an parelektronomischen Gastroknemien, und liess die Multiplicatornadel unter dem Einfluss des schwachen aufsteigenden Stromes, der etwa zugegen war, und des Stromes der Ladungen zur Ruhe kommen. Dann betupfte ich die Nebensehne mit einer entwickelnden Flüssigkeit und sah dabei oft einen absteigenden Ausschlag erfolgen.

Ich habe jetzt diesen Versuch mit den unpolarisirbaren Zuleitungsgefässen an der Spiegelbussole wiederholt, und mich auf's Neue von seiner Richtigkeit überzeugt, Gesättigte Höllensteinlösung ist dazu die geeignetste Flüssigkeit, weil sie sich nicht so leicht verbreitet wie Essigsäure, nicht so langsam eindringt wie Kreosot, und ihr Verbreitungsbezirk stets leicht erkannt wird. (Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 77. 78.) Die Abnahme des Stromes ist eine dauernde; daraus allein folgt, dass sie nicht der negativen Schwankung wegen der Zuckungen beim Anätzen zuzuschreiben sei. Ist der Muskel stark parelektronomisch, so kann er in Folge des Versuches absteigend wirksam bleiben. Das Betupfen keiner anderen Stelle des Muskelumfanges bringt die gleiche Wirkung hervor, obschon auch dabei gezuckt wird. Am beweiskräftigsten ist dieser Gegenversuch an der der Nebensehne symmetrischen Stelle der Tibialfläche. Benetzt man einen Punkt der Rückenfläche in gleicher Höhe mit der Nebensehne, so erfolgt sogar oft eine positive, statt einer negativen Veränderung des Stromes. Man kann auch, anstatt chemisch die parelektronomische Schicht unter der Nebensehne zu zerstören, mittels einer kleinen Cooper'schen Scheere die Nebensehne abtragen. Der Erfolg dabei, und bei den entsprechenden Gegenversuchen an anderen Stellen, ist der nämliche wie beim Anätzen. Endlich kann man dem Versuch auch noch eine in gewisser Beziehung richtigere Gestalt ertheilen, indem man dem Muskel, statt der Bäusche an Haupt- und Achillessehne, die Thonspitzen der Zuleitungsröhren am Längsschnitt so anlegt, dass die eine einen beliebigen, bequem gelegenen Punkt, die andere einen der Nebensehne möglichst nahen Punkt des Längsschnittes berührt, und dann die Nebensehne anätzt oder abträgt. Dadurch wird der letztere Punkt negativer gegen den anderen, eine Wirkung, welche nicht eintritt, wenn man die beiden Spitzen zweien beliebigen Punkten des Längsschnittes anlegt und quer auf die Verbindungslinie der beiden Spitzen, dicht an der einen, einen Strich mit dem Höllensteinpinsel zieht.

Die Negativität der Hauptsehne wie die der Nebensehne durch Anätzen zu erhöhen, gelingt schlecht wegen der verhältnissmässig grossen und ungleichen Dicke, in der sie den unter ihr liegenden natürlichen Querschnitt überzieht.

Kopf des Gastroknemius lässt nun auch wirklich, gleich dem übrigen Muskel, in seiner elektromotorischen Wirkung Umstände erkennen, welche nicht mit dem Gesetze des Muskelstromes zu vereinigen sind. Während sich die Nebensehne mit der Hauptsehne gleichartig, und negativ gegen einen wenig tiefer als sie gelegenen Punkt verhalten sollte, findet man sie meist negativ gegen die Hauptsehne und positiv gegen einen tieferen Punkt. In beiden Fällen erfolgt also ein schwacher aufsteigender Strom. Einen solchen Strom erhält man auch, wenn man einen in gleicher Höhe mit der Nebensehne gelegenen Punkt des Längsschnittes mit einem tieferen Punkte verknüpft. An und für sich könnte man diesen als den schwachen Strom des Längsschnittes, vom Achillesspiegel fort im Muskel, auffassen; aber der von einem tieferen Punkte zur Nebensehne, und von der Neben- zur Hauptsehne aufsteigende Strom ist jedenfalls etwas Anderes, und erscheint am Muskelkopfe als die Fortsetzung des aufsteigenden Stromes, den wir in den unteren Theilen der Tibialfläche wahrgenommen haben. Auch hierin könnte man sich, insofern dadurch keine neue Annahme nöthig gemacht wird, jetzt leicht finden. Was aber gar nicht dazu stimmt, ist, dass man manchmal an der Rücken- [558] fläche des Muskelkopfes, zwischen der Hauptsehne und dem Rande $G'$ des Achillesspiegels, nirgend einen aufsteigenden Strom antrifft, da sich doch hier der Längsschnittsstrom vom Querschnitt fort im Muskel mit dem 'Courant propre' summiren müsste, sondern hartnäckig einen schwachen absteigenden Strom (11. Fig. 2.).

Diese schwachen Ströme am Muskelkopfe sind übrigens sehr unbeständig, so dass man sie nicht immer in den angezeigten Richtungen vorfindet, und dass sie im Vergleich zu einander oft sehr verschiedene Stärke zeigen. Ich habe mit ihrer Erforschung viel Zeit verbracht, ohne zu einer sicheren Beherrschung der dabei auftretenden Zufälligkeiten zu gelangen.

Was die parelektronomische Schicht betrifft, so sieht man im Allgemeinen, unserer Vorhersage gemäss, alle hier beschriebenen Wirkungen mit deren Entwickelung einander proportional abnehmen, und mit deren natürlicher Rückbildung oder künstlicher Schwächung im Versuch, ebenso sich steigern.

## §. VI. Die besonderen elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Gastroknemius lassen sich auch an einem regelmässig gefaserten Muskel hervorrufen, den man nach Art des Gastroknemius zuschneidet. Man erhält so eine neue Art von Muskelströmen, die „**Neigungsströme**“.

Ehe wir die Annahme eines im Froschgastroknemius zum Muskelstrom hinzutretenden, aufsteigenden 'Courant propre' als nothwendig anerkennen, wird es gerathen sein zu untersuchen, welcher Antheil an den unregelmässigen Wirkungen dieses Muskels vielleicht der besonderen Anordnung seiner Fleischbündel zukomme. Ein Weg dazu würde sein, an einem anderen Muskel, an dem vermöge seines von Natur regelmässigen Baues das Gesetz des Muskelstromes rein hervortritt, dieselbe Anordnung künstlich herzustellen. Wenn alsdann an diesem Muskel ähnliche Abweichungen der elektromotorischen Thätigkeit einträten wie am Gastroknemius, so würde deren Ursprung aus den Eigenthümlichkeiten des Gastroknemiusbaues und deren Unabhängigkeit von einem 'Courant propre' selbst [559] dann erwiesen sein, wenn deren theoretische Herleitung durch die Verwickelung des Gegenstandes unmöglich gemacht wäre. Auf den ersten Blick mag dieser Plan unausführbar scheinen; man wird aber gleich sehen, dass er mit gar keinen Schwierigkeiten verknüpft ist. Um ihn zu verwirklichen, haben wir nur nöthig, auf das in Fig. 5. gegebene, oben S. 70. 71 erläuterte Schema des Gastroknemiusbaues zurückzugehen. Das Zusammenklappen des oberen natürlichen Querschnittes in der Längsmittellinie, das Verwachsen seiner Hälften zur sehnigen Scheidewand werden wir freilich nicht nachahmen können. Aber nichts verhindert uns, mit künstlichem Querschnitt eine solche Anordnung herzustellen, wie wir sie, mit natürlichem Querschnitt, als Urgestalt des Gastroknemius vorausgesetzt haben.

Der Adductor magnus stellt, abgesehen von seinen sehnigen Enden und von einer leichten Asymmetrie dieser Enden, vermöge welcher er oben breiter und dünner, unten schmäler und dicker ist, einen Cylinder vor, der zur Grundfläche ein längliches Rechteck mit abgerundeten Ecken hat. Durch zwei parallele Schnitte, welche senkrecht auf die platte Seite des Cylinders unter einem mehr oder weniger spitzen Winkel gegen seine Axe geführt werden,[1] entsteht das in Fig. 11. abgebildete Präparat, das

[1] Die richtige Art, Querschnitte für derartige Versuche zu machen, ist die schon früher (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 698) von mir angegebene, die Muskeln auf eine passende Unterlage, etwa auf die Narbenseite eines Stückes Leder, zu legen, und ein senkrecht aufgesetztes Rasirmesser möglichst rasch hindurchzudrücken.

wir einen Muskelrhombus nennen wollen, wegen der Gestalt der Schnittfläche, die man erhält, wenn man sich durch die grossen Axen $G'CG_{,}$, $\Gamma'K\Gamma_{,}$ der als Ellipsen gedachten schrägen Grundflächen eine Ebene gelegt denkt. Die Aehnlichkeit zwischen dem so zugeschnittenen Adductor magnus und dem in Fig. 5. schematisirten Gastroknemius vor Zusammenklappen seines oberen natürlichen Querschnittes springt in die Augen.

Ehe wir an die Untersuchung der Ströme am Muskelrhombus gehen, will ich zuerst die Aufmerksamkeit auf einen da- [560] bei in Betracht kommenden Umstand lenken, auf den ich zwar schon bei anderer Gelegenheit hingewiesen,[1] den ich aber noch nie, wie er es verdiente, ausdrücklich durch Versuche erläutert habe. Ich meine die Abnahme der Negativität des Querschnittes mit dem Winkel zwischen ihm und der Faserrichtung.[2]

Da man den Muskel verkürzt, wenn man an Stelle des senkrechten einen schrägen, und an Stelle dieses wieder einen senkrechten Querschnitt anlegt, so ist zuerst der Einfluss zu prüfen, den die Verkürzung an sich, ohne dass die Neigung des Querschnittes verändert wird, auf den Spannungsunterschied zwischen Längs- und Querschnitt übt; und da der Widerstand des Muskels mit der Verkürzung abnimmt, so ist es am besten, statt die Stromstärke an der Bussole, gleich am Compensator die elektromotorische Kraft zu messen. Ein Punkt des Längsschnittes, nah dem einen sehnigen Ende des Muskels, wird mit etwas Russ bezeichnet; er ist bestimmt, mit der Thonspitze einer Zuleitungsröhre berührt zu werden. Am anderen Ende des Muskels wird ein senkrechter oder schräger Querschnitt angelegt, und gegen das Thonschild eines meiner neuen Zuleitungsgefässe geschoben.[3] Hat man den Spannungsunterschied der beiden abgeleiteten Stellen gemessen, so wird ein neuer senkrechter, beziehlich schräger Querschnitt hergestellt, der den Muskel um einen bestimmten Bruchtheil, z. B. um ein Viertel der Strecke zwischen dem ersten Querschnitt und dem abgeleiteten Punkte des Längsschnittes verkürzt, und der neue Spannungsunterschied bestimmt. So wer- [561] den

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 504; — Bd. II. Abth. 2. S. 122. 124.

[2] Genau genommen sollte mit Querschnitt nur ein senkrechter Durchschnitt der Muskelbündel bezeichnet werden. Inzwischen würde, wie die Sachen stehen, diese Beschränkung ihre Nachtheile haben, und es wird daher im Folgenden ohne Rücksicht darauf häufig von schrägen Querschnitten die Rede sein.

[3] Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. Taf. I. Fig. 1. S. 88—95. — S. oben Bd. I. S. 157—160. Taf. I. Fig. 1. Die neuen Zuleitungsgefässe wurden zu allen in gegenwärtiger Abhandlung vorkommenden Versuchen benutzt, bei denen nicht durch die Natur der Sache die Anwendung der Zuleitungsröhren mit Thonspitzen geboten war.

noch zwei Viertel jener Strecke folgweise abgetragen und die zugehörigen Spannungen verzeichnet. Je nachdem die abgeleitete Stelle des Längsschnittes am oberen oder am unteren Ende des Muskels liegt, ist die Kraft dabei im Muskel auf- oder abwärts gerichtet.

In der ersten der am Schluss der Abhandlung befindlichen Tabellen sind die Zahlen in den mit 0. 1. 2. 3. bezeichneten Columnen beziehlich die Spannungsunterschiede oder Stromkräfte bei unverkürztem, bei um 1, 2 und 3 Viertel verkürztem Muskel, gemessen in der willkürlichen Einheit der Compensatorgrade und mit einem Grove zur compensirenden Kette. Das Pluszeichen bedeutet die auf-, das Minuszeichen die absteigende Richtung der Kraft.

Die Tabelle lehrt, dass bei dieser Versuchsweise die Verkürzung anfangs keine Veränderung der Kraft bewirkt, wodurch zufällige Umstände, die ein Schwanken der Kraft herbeiführen, überwogen würden. Nur das Abtragen des dritten Viertels zieht mit seltenen Ausnahmen ein Sinken der Kraft nach sich. In den 'Untersuchungen' habe ich gezeigt, dass von zwei gleichnamigen Muskeln desselben Frosches, die durch zwei künstliche Querschnitte begrenzt, einerseits mit dem einen Querschnitt, andererseits mit dem Aequator aufgelegt werden, der längere meist die Oberhand hat.[1] Zwischen diesem Ergebniss und dem jetzigen besteht somit anscheinend ein Widerspruch, mit dessen Lösung wir uns indess hier nicht befassen wollen.

Wiederholen wir jetzt dieselben Versuche mit dem Unterschied, dass wir beim Verkürzen des Muskels senkrechte und schräge Querschnitte mit einander abwechseln lassen. Es versteht sich, dass man dies am nämlichen Muskel um so seltener wird thun können, je schräger man die Querschnitte macht und je breiter der Muskel im Vergleich zu seiner Länge ist. Dies erklärt, weshalb in der Tabelle II, welche das Ergebniss dieser Versuche enthält und sonst keiner Erläuterung bedarf, am [562] Rectus internus z. B. eine grössere Anzahl solcher Wechsel vorkommt, als am Adductor magnus. Wie man sieht, sinkt der Spannungsunterschied sehr regelmässig, wenn der Querschnitt schräg, und steigt wieder, wenn auch nicht immer zur früheren Höhe, wenn der Querschnitt wieder senkrecht gemacht wird.

Auf diesem Wege fällt der Beweis unseres Satzes etwas umständlich aus. Einfacher gelangt man dazu, indem man einen Muskel mit einem senkrechten und einem schrägen Querschnitt zwischen die Bäusche bringt. Bei gehöriger Neigung des schrägen Querschnittes erhält man fast stets

[1] A. a. O. Bd. I. S. 694; — vergl. Bd. II. Abth. I. S. 266, wo dasselbe Gesetz für die Nerven bewiesen wird.

einen mehr oder minder kräftigen Strom, der den schrägen Querschnitt als positiv gegen den senkrechten anzeigt.

Der Untersuchung der Ströme am Muskelrhombus ist ferner die Bemerkung voraufzuschicken, dass ich es mittels der Zuleitungsröhren mit Thonstiefeln jetzt dahin gebracht habe, am Adductor magnus oder Semimembranosus eines grossen Frosches das elektromotorische Verhalten der einzelnen Punkte eines oder zweier künstlichen Querschnitte gegen einander, als vollkommen dem Gesetz entsprechend, nachzuweisen. An einem und demselben Querschnitt war mir dies früher nur an Kaninchenmuskeln, an zwei Querschnitten aber noch gar nicht gelungen, da ich an Kaninchen keinen dazu passenden Muskel fand, meine früheren Vorrichtungen aber zu grob waren, um den Versuch am Frosch anzustellen.[1] Jetzt also lässt sich ohne Schwierigkeit darthun, dass jeder dem Umfang des Querschnittes nähere Punkt sich positiv verhält gegen jeden der Mitte näheren, während schwächere Ausschläge in unbestimmter Richtung erfolgen, wenn man sich bemüht, die Spitzen solchen Punkten anzulegen, die gleich weit vom Umfange liegen; gleichviel ob die Punkte auf dem nämlichen Querschnitt oder auf dem oberen und unteren Querschnitt des Muskels gewählt sind.

Wiederholt man nunmehr diese Versuche an einem der schrägen künstlichen Querschnitte des Muskelrhombus, so fin- [563] det man daran die Ströme völlig in der nämlichen Weise verändert, wie an dem schrägen natürlichen Querschnitt des Gastroknemius. Betrachten wir, wodurch die Uebereinstimmung deutlicher wird, den unteren Querschnitt, dessen grosse Axe die spitze Rhombusecke bei $G_{,}$ (Fig. 11) einschliessen hilft. Setzt man die beiden Spitzen, was natürlich nur an sehr grossen Muskeln ausführbar ist, dem schrägen künstlichen Querschnitt in dessen kleiner Axe $r'Cr_{,}$, oder so auf, dass ihre Verbindungslinie dieser Axe parallel ist, so giebt sich nichts besonderes zu erkennen. In der Richtung der grossen Axe hingegen macht sich, ganz wie der Länge nach am Achillesspiegel, die Störung geltend. In der Lage 1., wo ein schwacher Strom im Muskel aufsteigen sollte, erfolgt nämlich ein verhältnissmässig zu starker aufsteigender Strom. In der zur Mitte $C$ der grossen Axe symmetrischen Lage 2., wo der Strom Null sein sollte, erhält man immer noch einen kräftigen aufsteigenden Strom, dessen Stärke mit der Spannweite des Bogens wächst. In der 3., wo der Strom absteigen sollte, ist er immer noch aufsteigend, obwohl schwächer als in der 2. Der aufsteigende Strom verschwindet erst in einer Lage, ähnlich der 4. Endlich

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 507—512.

erst in der Lage 5. erhält man einen stets nur sehr schwachen absteigenden Strom. Ja es kommt vor, dass entweder die beiden letzteren Fälle, oder wenigstens deren zweiter, gar nicht eintreffen, vielmehr der Strom, beim Verschieben des Bogens bis zur spitzen Rhombusecke, zuletzt nur verschwindet, ohne sich umzukehren, oder gar bis zuletzt, wenn auch nur spurweise, vorhanden und aufsteigend bleibt.

Die Erscheinungen am oberen Querschnitt, beim Verschieben des Bogens von der stumpfen nach der spitzen Rhombusecke, sind die nämlichen, nur dass für aufsteigend überall absteigend zu setzen ist, und umgekehrt. Aber auch die Ströme des Längsschnittes sind entsprechend verändert. Wir wollen, der Kürze halber, Längsschnittsseiten des Muskelrhombus die Durchschnittslinien einer durch die grossen Axen der schrägen Querschnitte $G'CG_{,}$, $\Gamma'K\Gamma_{,}$ gelegten Ebene mit dem Cylindermantel nennen. Betrachten wir diejenige dieser Längsschnittsseiten, $G_{,}m_{,}\Gamma_{,}$, welche mit der grossen Axe des unteren Quer- [564] schnittes den unteren spitzen Winkel des Rhombus bei $G_{,}$ einschliesst. Hier gestalten sich die Dinge folgendermaassen. In der Stellung 6., wo ein schwacher Strom im Muskel aufsteigen sollte, tritt ein verhältnissmässig viel zu starker Strom in dieser Richtung ein. In der zur Mitte $m_{,}$ der Längsschnittsseite symmetrischen Lage 7., wo der Strom Null sein sollte, erhält man immer noch einen kräftigen aufsteigenden Strom, dessen Stärke mit der Spannweite des Bogens wächst. In der 3., wo der Strom absteigen sollte, ist er immer noch aufsteigend, obwohl schwächer als in der 7. Der aufsteigende Strom verschwindet erst in einer Lage ähnlich der 9. Endlich erst in der Lage 10. erhält man einen stets nur sehr schwachen absteigenden Strom. Ja es kommt vor, dass entweder die beiden letzteren Fälle, oder wenigstens deren zweiter, gar nicht eintreffen, vielmehr der Strom, beim Verschieben des Bogens bis zur stumpfen Rhombusecke, zuletzt nur verschwindet, ohne sich umzukehren, oder gar bis zuletzt, wenn auch nur spurweise, vorhanden und aufsteigend bleibt.

Die Erscheinungen an der anderen Längsschnittsseite, $G'm'\Gamma'$, beim Verschieben des Bogens von der spitzen nach der stumpfen Rhombusecke, sind die nämlichen, nur dass für aufsteigend überall absteigend zu setzen ist, und umgekehrt.

Das Ganze der sich hier kundgebenden Abweichungen vom Gesetze des Muskelstromes kann man sich offenbar dadurch hervorgebracht denken, dass an den vier Seiten des Muskelrhombus zu den gewöhnlichen Strömen solche hinzutreten, die an jeder Seite im Bogen von der stumpfen zur spitzen Ecke fliessen (11. 12. 13. 14. in der Figur), in den beiden unteren, die spitze Ecke $G_{,}$ einschliessenden Seiten also auf-, in den beiden oberen, die spitze Ecke $\Gamma'$ einschliessenden Seiten abzusteigen

scheinen. Man kann diese Ströme die Neigungsströme nennen, weil sie mit der Neigung des Querschnittes gegen die Axe der Bündel auftreten. Dass diese Annahme genügt, die beschriebenen Erscheinungen zu erklären, erhellt zum Theil mit Hülfe der nämlichen Construction, welche uns gedient hat, die ganz ähnlichen Erscheinungen am Achillesspiegel abzuleiten. Vergl. oben S. 86 und Fig. 10. *A*, wo die Abscissen- [565] axe $G'CG_{\prime}$ jetzt die ebenso bezeichnete grosse Axe des schrägen künstlichen Querschnittes, die Curve $NC'G_{\prime}$ aber die dem Neigungsstrome zu Grunde liegenden Spannungen bedeutet. Die entsprechende Construction für die eine Längsschnittsseite des Rhombus ist in Fig. 10. *B* durchgeführt. Die Abscissenaxe $G_{\prime}m_{\prime}\Gamma_{\prime}$ stellt die Seite des Rhombus vor, welche mit der vorigen die spitze Ecke bei $G_{\prime}$ einschliesst. Abermals ist die punktirte Curve $M''M_{\prime\prime}$ die der gewöhnlichen Muskelstrom-Spannungen, die gestrichelte $N'G_{\prime}$ gehört dem Neigungsstrom an, die ausgezogene $RM''$ bedeutet die resultirenden Spannungen. Auch hier sind in der Figur die Ordinatenunterschiede vorgestellt, wie sie sich in den am Rhombus sichtbaren fünf Lagen des Bogens gestalten, und man überzeugt sich leicht, dass sie der Grösse und dem Zeichen nach mit der Stärke und Richtung der Ströme übereinkommen, wie sie oben angegeben sind. Die Fälle, wo es an der Querschnitts- oder Längsschnittsseite eines Rhombus beim Verschieben des Bogens beziehlich nach der spitzen oder stumpfen Ecke nicht gelingt, den darin zur spitzen Ecke gerichteten Strom verschwinden, geschweige sich umkehren zu sehen, unterliegen der nämlichen Deutung wie das entsprechende Verhalten am Achillesspiegel (s. oben S. 88).

Die Neigungsströme treten rein hervor in den vier symmetrischen Lagen der Spitzen zu den Punkten $C$, $K$, $m'$ und $m_{\prime}$. Wird der Bogen aus der symmetrischen Lage zur Mitte einer Längsschnittsseite, z. B. aus der zu $m_{\prime}$ symmetrischen Lage 11. Fig. 11., so verschoben, dass die Verbindungslinie seiner Enden der Muskelaxe parallel bleibt, während deren Mitte eine dem Umfange der schrägen Querschnitte parallele Curve, den schrägen Aequator des Muskelrhombus $m_{\prime}\mu'm'$, beschreibt, so nimmt der aufsteigende Strom bis zur Durchschnittslinie $r'\mu'\varrho'$ stetig ab, schlägt hier in den absteigenden Strom um, und wächst als solcher wiederum, bis der Bogen die symmetrische Stellung 13. zu $m'$ erlangt hat.

Es giebt noch eine andere Art, die Neigungsströme den schrägen Querschnitten entlang unvermischt mit dem gewöhnlichen Muskelstrom darzustellen. Dazu braucht man nur den Bogen z. B. in die mit 15. bezeichnete Lage zu bringen, wo- [566] bei seine Enden Längsschnitt in gleicher Entfernung vom Querschnitt berühren. Es entsteht ein starker

Strom im Bogen von der stumpfen nach der spitzen Rhombusecke und aufsteigend im Muskel. Wird der Bogen dem Muskel entlang so verschoben, dass die Verbindungslinie seiner Enden stets auf einer dem Umfange des schrägen Querschnittes parallelen Curve bleibt, während deren Mitte die Gerade $r'\mu'\varrho'$ beschreibt, so nimmt der Strom ab bis zum Aequator des Muskelrhombus, schlägt hier um in die absteigende Richtung, und erreicht in dieser wieder eine grosse Stärke in der Lage 16., welche am oberen Querschnitt der Lage 15. am unteren entspricht.

Die Schneidepunkte $\mu'$, $\mu_{,}$ des schrägen Aequators mit den Geraden, in welchen eine durch die kleinen Axen der schrägen Querschnitte gelegte Ebene den Cylindermantel schneidet, sind gegen Längsschnittspunkte nah den spitzen Ecken stark, gegen solche nah den stumpfen Ecken schwach positiv, gegen letztere wohl nur als gegen dem Querschnitt nähere. Jene Schneidepunkte sind somit die positivsten der ganzen Oberfläche des Rhombus.

Natürlich mischen sich die Neigungsströme auch in den Erfolg bei Verknüpfung zweier den beiden Querschnitten, oder den beiden Längsschnittsseiten des Rhombus angehörigen Punkte. Punkte des einen Querschnittes oder der einen Längsschnittsseite, welche einer stumpfen Ecke nahe sind, verhalten sich positiv gegen die einer spitzen Ecke gleich nahen des anderen Querschnittes, beziehlich der anderen Längsschnittsseite u. s. f.

Die Neigungsströme summiren sich aber algebraisch nicht bloss zu den durch das Gesetz des Muskelstromes zwischen Punkten des Längs- oder Querschnittes geforderten Strömen, sondern auch zum Strom zwischen Längs- und Querschnitt selber. Zwischen $m'$, $m_{,}$ einerseits, und $C$, $K$ andererseits, findet man den Muskelstrom im richtigen Sinne, wegen der Schräge der Querschnitte aber nur schwach vor (17. Fig. 11.). Dasselbe gilt überhaupt von Punkten des Längs- und des Querschnittes, die gleich weit von einer stumpfen oder von einer spitzen Rhombusecke liegen. Zwischen einem Punkte des Längsschnittes hingegen, der einer stumpfen, und einem Punkte des [567] Querschnittes, der einer spitzen Ecke nahe liegt, findet man einen auffallend kräftigen Strom vor (18. Fig. 11.). Er wird am stärksten, wenn man am Längsschnitt die Spitze einem der Schneidepunkte $\mu'$, $\mu_{,}$, aufsetzt, da dann der Bogen einen der beiden positivsten mit einem der beiden negativsten Punkte des Rhombus verknüpft. Endlich zwischen einem Punkte des Längsschnittes, der einer spitzen, und einem des Querschnittes, der einer stumpfen Ecke nahe liegt, findet man den Strom auf wenig Scalentheile beschränkt, ja häufig umgekehrt (19. Fig. 11.), so dass hier der natürliche Längsschnitt sich gegen den künstlichen Querschnitt negativ verhält, wie

unter bestimmten Umständen am Gastroknemius gegen den natürlichen (s. oben S. 86), was uns aber jetzt nicht mehr, wie damals, den Eindruck des Unerhörten macht, da wir deutlich sehen, dass es in diesen Fällen sich nicht um eine Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt handelt, sondern um eine durch eine besondere Anordnung der elektromotorischen Elemente an jedem Muskel jederzeit hervorzurufende Abänderung der Resultirenden aus deren Wirkungen. Fig. 10. *A*, *B* zeigt auch für diesen Fall (12.) den Ordinatenunterschied $R_q\ R_l$ der Curve der resultirenden Spannungen. Wie man sieht, fällt dessen Zeichen verschieden aus von dem des grösseren Unterschiedes $M_l\ M_q$ der zu denselben Abscissen gehörigen Ordinaten der Curve der Muskelstrom-Spannungen.

Der den Neigungsströmen zu Grunde liegende Spannungsunterschied ähnlich gelegener Punkte am schrägen Querschnitt muss nothwendig eine solche Function der Neigung des Querschnittes gegen die Faserrichtung sein, dass sie ein Maximum hat, da zuletzt ein Punkt kommt, wo der künstliche Querschnitt mit dem künstlichen Längsschnitt zusammenfällt. Es ist mir erschienen, als würde dieses Maximum erst bei einer Neigung beträchtlich grösser als 45° erreicht, doch ist es sehr schwer, hierüber etwas auszumachen.

Der Spannungsunterschied ähnlich gelegener Punkte an den schrägen Querschnitten und an den Längsschnittsseiten des Rhombus scheint gleich gross zu sein. Aber auch über diesen Punkt gelangt man zu keinen scharfen Bestimmungen.

[568] Was die absolute Grösse betrifft, deren das Maximum des Spannungsunterschiedes zwischen den äussersten Punkten der schrägen Querschnitte oder der Längsschnittsseiten fähig ist, so sahen wir schon, dass dies Maximum den Unterschied zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt übertrifft. Ueberraschend ist aber, dass es sogar grösser wird, als der Unterschied zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt. Man erfährt dies, indem man die beiden grossen Adductoren desselben Frosches, deren einer wie gewöhnlich, der andere als Muskelrhombus zugerichtet ist, einander im nämlichen Kreise entgegensetzt; jenen mit dem Aequator des Längsschnittes und dem einen künstlichen Querschnitt auf den Thonschildern der Zuleitungsgefässe, diesen mit den Thonspitzen der Zuleitungsröhren an den äussersten Punkten eines seiner schrägen Querschnitte, oder einer seiner Längsschnittsseiten. Meist zwar überwiegt der gewöhnliche Muskelstrom; oft aber kommt es auch vor, dass der Neigungsstrom der stärkere ist. Sehr regelmässig unterliegt der senkrecht durchschnittene Muskel, wenn man zum Neigungsstrom noch den Strom vom Längsschnitt zum schrägen

Querschnitt fügt, indem man die am Querschnitt der stumpfen Ecke nahe Spitze einem der Schneidepunkte $\mu'$, $\mu,$ anlegt. So haben wir unerwartet in dem Schrägdurchschneiden der Muskeln ein Mittel entdeckt, ihnen stärkere elektromotorische Wirkungen zu entlocken, als je bisher.

Dass der Adductor magnus hier keine ihm eigene Rolle spiele, bedarf kaum der Erwähnung. Am besten nach ihm, ja in mancher Hinsicht noch besser, schickt sich zur Darstellung der Neigungsströme der Semimembranosus. Aber auch am Sartorius kann man das Hauptsächlichste davon nachweisen, nur dass es schwer hält, mit den Spitzen am Querschnitt bis nah an die scharfen Ränder des Muskels zu gehen, ohne auf Längsschnitt überzutreten.

Die Neigungsströme sind nach dem Allen als eine den Strömen des Längs- und des Querschnittes, ja dem Strom zwischen Längs- und Querschnitt selber, ebenbürtige Erscheinung aufzufassen, und als ein neuer regelmässiger Zug in [569] die Beschreibung des Muskels als Elektromotors aufzunehmen. Nach Darlegung des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt, und der Ströme am Längs- und am Querschnitt des senkrecht durchschnittenen Muskels, wird man fortan bemerken müssen, dass dieser Fall, in dem die Neigungsströme verschwinden, nur ein besonderer sei, und dass im allgemeinen Fall des schräg durchschnittenen Muskels, während die Negativität des Querschnittes abnimmt, die Neigungsströme auftreten, deren Stärke mit der Neigung des Querschnittes zuerst zunimmt und später wieder sinkt.

Um die Neigungsströme zu beobachten, ist es nicht nöthig, einen regelmässigen Muskelrhombus herzustellen. Wo immer man durch den Adductor magnus u. s. w. einen schrägen Querschnitt führe, man findet daran den Neigungsstrom richtig vor ($q'$ $q,$ Fig. 12.). Um das Verhalten der Neigungsströme am Längsschnitt eines solchen unvollständigen Rhombus zu ermitteln, legt man zuerst die beiden Thonspitzen dem Längsschnitt etwa in $l\,l_1$ an, ehe der Schnitt $l_1\,l_2$ gemacht ist. In der Regel ist ein Strom vorhanden, der $l$, weil näher dem oberen natürlichen Querschnitt $O$, als schwach negativ gegen $l_1$ anzeigt. Wird der Muskel in $l_1\,l_2$ durchschnitten, so kehrt sich dieser Strom um, weil nun $l_1$, als dem künstlichen Querschnitt näher, negativer ist als $l$, und der dadurch bedingte Strom, wie man annehmen muss, den Neigungsstrom überwiegt. Der Strom wächst, wenn man statt des schrägen Schnittes $l_1\,l_2$ den senkrechten $l_1\,l_3$ anlegt, weil der Neigungsstrom fortfällt, und weil ein senkrechter Querschnitt negativer ist als ein schräger. Der Strom wird am stärksten, wenn die rechte Ecke $l_1$ durch den Schnitt $l_1\,l_4$ in eine spitze verwandelt wird, weil nun der Neigungsstrom, statt wie zuerst sich vom gewöhnlichen Strom abzuziehen, sich hinzufügt, und weil er, wie man

annehmen muss, den Unterschied zwischen dem gewöhnlichen Strom bei schrägem und bei senkrechtem Querschnitt übertrifft. Die Neigungsströme machen sich hier also nur durch den beständigen und sehr auffallenden Unterschied bemerkbar, den sie in der Stärke der schwachen Ströme des Längsschnittes hervorbringen, je nachdem letzterer an eine stumpfe oder an eine spitze Ecke stösst.

[570] Das Zuschneiden des Muskelrhombus aus dem Adductor magnus bringt es mit sich, dass die beiden stumpfen Ecken der Mitte, die beiden spitzen den Enden des Muskels angehören. Man könnte den Verdacht fassen, der im Muskel von jeder spitzen Ecke zu den beiden stumpfen gerichtete Strom sei die Folge eines vorherbestehenden elektromotorischen Unterschiedes zwischen der Mitte und den Enden des Muskels, der dann auch die Ursache der schwachen Ströme des Längsschnittes enthalten könnte. Doch ist so eben bemerkt worden, dass man die Neigungsströme richtig vorfindet, wo immer man den schrägen Querschnitt führe, und was insbesondere diese Ströme an den Längsschnittsseiten betrifft, so sahen wir sie daran in Folge des Anlegens des schrägen Querschnittes hervortreten. Hier können sie demnach nicht auf vorherbestehenden Unterschieden beruhen. Die Neigungsströme am Querschnitt aber haben, wie Fig. 12. verdeutlicht, an zwei zusammengehörigen Querschnitten entgegengesetzte Richtung. Die obige Vorstellung würde also verlangen, dass eine Stelle des Muskelinneren $q'$ sich zu einer anderen Stelle $q$, positiv und auch negativ verhielte, was ungereimt ist. Legt man die Spitzen zwei Punkten des noch undurchschnittenen Muskels an, die schräg über einander liegen, wie $l_5$, $l_6$, so erhält man einen schwachen Strom, der von der Lage der Punkte zum Aequator abhängt. Wird dann daran vorbei der schräge Schnitt $l_1 l_2$ geführt, so tritt der Neigungsstrom des Querschnittes jetzt ebenso hervor, wie vorher der des Längsschnittes bei der Lage $ll_1$ der Spitzen und dem Führen der Schnitte $l_1 l_2$, $l_1 l_4$.

Ueber den Einfluss der Dimensionen der Muskelrhomben auf die Stärke der Neigungsströme fehlt es noch an Versuchen, und wird es sehr schwer sein etwas auszumachen.

Eine bemerkenswerthe Abänderung der Versuche am Muskelrhombus entsteht, wenn man einen Muskel so zuschneidet, wie Fig. 13. zeigt. Die mit + bezeichneten Ecken dieses Präparates sollen zur Erinnerung an ihren Ursprung Längsecken, die mit — bezeichneten Querecken heissen. Das Gesetz der Ströme gestaltet sich hier folgendermaassen. Die vier Schnittflächen im Ganzen sind untereinander gleichartig, da sie [571] gleiche Winkel mit der Faser machen. Auch finden in diesen Schnittflächen keine Ströme mehr statt von den Ecken zu deren Mitte oder umgekehrt. Ferner sind Punkte dieser Schnittflächen, und solche des

Längsschnittes, die gleich weit von einer Längsecke oder von einer Querecke abstehen, ebenfalls unter einander gleichartig. Dagegen findet man kräftige Ströme vor von Punkten des Quer- oder des Längsschnittes, welche einer Längsecke näher sind, durch den Bogen zu solchen, welche einer Querecke näher sind. Dies sind offenbar wieder Neigungsströme. Liegt der Bogen Längs- und Querschnitt zugleich an, so summirt sich zu jenen Strömen algebraisch ein Strom in der gewöhnlichen Richtung des Muskelstromes, jedoch schwach wegen der Neigung des Querschnittes gegen die Faser. Er kann durch die Neigungsströme, unter den geeigneten Umständen, übermannt werden. Rein erhält man ihn, wenn man den Bogen einem Punkte des Längsschnittes und einem Punkte des Querschnittes anlegt, die gleich weit von einer Quer- oder einer Längsecke liegen. Im Gegensatz zu der zuerst beschriebenen Form des Muskelrhombus können an einem Muskelrhombus zweiter Art, wie ich das gegenwärtige Präparat nenne, sowohl die Längs- wie die Querecken, d. h. sowohl die positiven als die negativen Ecken des Rhombus die stumpfen, oder auch alle vier Ecken rechte ein.

Bei Wiederholung der in diesem Paragraphen dargelegten Versuche darf man, wie kaum erwähnt zu werden braucht, nicht darauf rechnen, dass man sämmtliche hier geschilderte Einzelheiten an einem und demselben Muskelrhombus in gleicher Ausprägung zu sehen bekomme. Es liegt z. B. in der Natur der Dinge, dass man die Neigungsströme an den vier Seiten eines solchen selten von gleicher Stärke erhält, u. dgl. m. Ohnehin sterben die Muskelrhomben zu schnell ab, um zu einer so ausgedehnten Versuchsreihe Zeit zu gewähren.

### [572] §. VII. Die Neigungsströme am Muskelrhombus, welche zur Erklärung der besonderen elektromotorischen Wirkungen des Gastroknemius geeignet sind, lassen sich auch an den passend abgeänderten Muskelmodellen aus Kupfer und Zink nachweisen.

Hier könnten wir mit unseren Ermittelungen über die Neigungsströme stehen bleiben. Unsere Kenntniss dieser Ströme reicht, wie ich bald zeigen werde, bereits aus, um die besonderen, am Gastroknemius wahrgenommenen elektromotorischen Erscheinungen zu erklären. Ehe wir zu dieser Anwendung der neuen Ströme schreiten, wollen wir sie um ihrer selber willen etwas weiter verfolgen.

Bekanntlich habe ich vermocht, die verschiedensten elektromotorischen Wirkungen der Muskeln und Nerven mittels schematischer Vor-

richtungen aus Kupfer und Zink sehr vollständig nachzuahmen. Ich war daher begierig zu versuchen, ob mir dies jetzt auch mit den Neigungsströmen gelingen würde. Vorzüglich lag mir daran, auch an dem Modell die scheinbare Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt, in Folge der Ueberwältigung des Stromes vom Längs- zum Querschnitt durch den Neigungsstrom, zu beobachten.

Bei der Beschreibung der folgenden Versuche setze ich meine früheren, ähnlichen Versuche, und die bei deren Darstellung gebrauchten Ausdrücke,[1] als bekannt voraus.

Zuerst bediente ich mich peripolarer Molekelmodelle, oder wie ich der Kürze halber sage, Molekeln; derselben, welche in meinem Werke beschrieben sind. Die Fig. 14. Taf. II., die, wie auch Fig. 15., 16. und 17., halbe natürliche Grösse hat, zeigt die Art, wie die Molekeln angeordnet wurden, um einen Muskelrhombus nachzuahmen. Sie stellt im Grundriss, von unten gesehen, einen Theil des rautenförmigen, 13 $^{\mathrm{mm}}$ dicken, gefirnissten Brettchens vor, auf dessen untere Fläche die Molekeln aufgekittet waren. Die durch eine [573] einfache Linie begrenzten Abschnitte des Umfanges der Molekeln bedeuten negative, die durch eine doppelte, positive Begrenzung. Um jede Molekel an den richtigen Ort zu bringen, war zuerst auf die untere Fläche des Brettchens das in der Figur bemerkbare Netz eingerissen worden, welches den Hof jeder einzelnen Molekel bezeichnete. Der Molekeln waren im Ganzen 96; sie bildeten acht parallele Reihen, von denen die Figur nur vier vorstellt, zu zwölf Molekeln jede. Jede Reihe überragte immer die vorige um eine Molekel. Zwischen den Kupferpolen je zweier in einer Reihe, und zwischen den Zinkzonen je zweier in zwei Reihen einander benachbarten Molekeln blieb 1 $^{\mathrm{mm}}$ Abstand. Der Hof einer Molekel war 12 $^{\mathrm{mm}}$ lang, 14 $^{\mathrm{mm}}$ breit. Die Längsschnittsseite des Rhombus maass demgemäss 156 $^{\mathrm{mm}}$, die Querschnittsseite 147·5 $^{\mathrm{mm}}$, und der spitze Winkel etwa 49°.

Denkt man sich durch einen Muskelrhombus zwei parallele einander äusserst nahe Ebenen so gelegt, dass sie der durch die grossen Axen der elliptischen Grundflächen gelegten Ebene parallel sind und diese zwischen sich fassen; und denkt man sich die so erhaltene dünne Scheibe senkrecht auf ihre eigene Fläche verdickt, so würde nach meiner Hypothese die Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile darin wesentlich dieselbe sein, wie in dem beschriebenen Modell. Versenken wir dies in einen feuchten Leiter von passender Gestalt, so müssen sich beim Anlegen eines Bogens an diesen Leiter die Neigungsströme im Conflict mit

---

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 672 ff.; — Taf. VI. Fig. 74. 75; — Bd. II. Abth. II. S. 93 ff. Taf. V. Fig. 143.

dem gewöhnlichen Strome zeigen, wie wir sie am Umfange der Durchschnittsfigur des Muskelrhombus mit der durch die grossen Axen seiner Querschnitte gelegten Ebene fanden.

Zur Handhabung des Modells diente ein Griff an der oberen Fläche des Brettes. Der Trog, in den das Modell versenkt wurde, war aus gefirnisstem Holz, im Lichten 340 $^{mm}$ lang, 152 $^{mm}$ breit und 40 $^{mm}$ tief. Durch hineingestellte hölzerne gefirnisste Klötze von 40 $^{mm}$ Höhe wurde ihm die der Gestalt des Modells entsprechende Rautenform gegeben, und es war die Einrichtung getroffen, dass entweder nur vor einer Längsschnitts- oder nur vor einer Querschnittsseite [574] oder auch vor zwei an einander stossenden, entweder einen spitzen oder einen stumpfen Winkel des Rhombus einschliessenden Seiten, eine 20 $^{mm}$ breite Rinne zur Ableitung der Ströme offen blieb. In Fig. 14. ist der von unten gesehene Grundriss des Modells in den Trog hineingezeichnet worden, und man sieht die Rinne vor zwei, eine stumpfe Ecke einschliessenden Seiten offen. Der Trog wurde so hoch mit Brunnenwasser gefüllt, dass die Molekeln ganz darin eintauchten, wenn durch das Versenken des Modells das Wasser stieg. Damit dabei das Wasser nicht durch die Luft verhindert würde, zwischen die Molekeln einzudringen, und damit es beim Herausheben leichter abflösse, war das Brett in den Lücken zwischen den Molekeln häufig durchbohrt (s. bei $l$, $l'$ in der Figur).

Bei meinen früheren Versuchen an solchen Modellen hatte ich zu kämpfen mit der Schwäche der Wirkungen, welche zum Theil daher rührte, dass dabei doppelte Polarisation stattfand, erstens an den Molekeln selber, zweitens an den zur Ableitung benutzten Platinelektroden. In Folge dieser doppelten Polarisation war nicht daran zu denken, beständige Ablenkungen von den Modellen zu erhalten. Vielmehr war ich darauf angewiesen, stets nur den ersten Ausschlag zu beobachten, der erfolgte, wenn ich das Modell eintauchte, nachdem die durch den Multiplicator zum Kreise geschlossenen Platinelektroden ihre Stellung erhalten hatten.

Die Polarisation an den Molekeln selber liesse sich vermeiden, wenn man die bisher von mir angewendeten Modelle durch unpolarisirbare Elektroden beständiger Säulen ersetzte.[1] Ich habe noch nicht Zeit gehabt, diese Einrichtung zu treffen, und mich vor der Hand damit begnügt, die Polarisation an den Elektroden des ableitenden Bogens wegzuschaffen. Dazu wurden die Platinelektroden ersetzt durch verquickte Zinkplatten, welche in Papptröge voll gesättigter schwefelsaurer Zinklösung tauchten, und diese Tröge wurden in die längs dem Modell offene Rinne da hingestellt,

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 98.

von wo die Ableitung geschehen sollte, wie Fig. 14. es für den Fall des Neigungsstromes im Conflict mit dem Strom von Längs- zu Querschnitt zeigt. Die Papptröge waren mit Kolophoniumkitt ge- [575] klebt, flach parallelepipedisch, im Lichten 8 $^{mm}$ breit, 50 $^{mm}$ hoch, und bis zum Rande mit der Lösung gefüllt. Ihre Länge richtete sich nach der Breite der Zinkplatten. Von letzteren hatte ich zwei Paar, das eine 50, das andere 22·5 $^{mm}$ breit. Die zugehörigen Tröge maassen beziehlich 52 und 24·5 $^{mm}$. In der Figur sind die längeren Tröge und breiteren Platten dargestellt. Zur Beobachtung der Ströme diente die Spiegelbussole mit nur 3000 Windungen in 10—25 $^{mm}$ Abstand vom Spiegel. Etwa auftauchende Ungleichartigkeiten machte der Compensator unschädlich.

In Folge des so erzielten Fortfalles der einen Polarisation erlangten zwar die Wirkungen ansehnlich grössere Stärke als in meinen früheren Versuchen. Doch blieben sie so unbeständig, dass ich es noch immer bei der Beobachtung des ersten Ausschlages beim Eintauchen des Modells bewenden lassen musste. Die hinterbleibenden beständigen Ablenkungen waren nicht bloss sehr schwach, sondern zeigten auch oft die verkehrte Richtung.

Zwischen je zwei Versuchen wurde das Modell fünf Minuten lang zum Trocknen und Depolarisiren auf Fliesspapier gestellt. War es so eine Zeitlang gebraucht worden, so wurde seine Wirkung auch beim ersten Eintauchen so schwach und unregelmässig, dass sich nichts mehr damit anfangen liess. Das Eintreten dieses Zustandes wurde dadurch verzögert, dass das Modell in verdünnter Chlorwasserstoffsäure gebadet, oder dass eine kleine Menge dieser Säure dem Wasser im Troge zugesetzt wurde. Es wurde sichtlich dadurch ein Niederschlag von Kalksalzen gelöst oder auch zu entstehen verhindert, der sich beim Verdunsten des Brunnenwassers auf die Molekeln ablagerte. Auf die Dauer indess half auch dies nicht. Dann überzog sich das Kupfer in der Nähe des Zinks mit einer Oxydhaut, welche vielleicht dadurch zu Stande kommt, dass diese Punkte des Kupfers sich zu den vom Zink entfernteren stark positiv verhalten.[1] Wie dem auch sei, ist das Modell einmal in diesen [576] Zustand gerathen, so bleibt nichts übrig als die Molekeln loszubrechen, blank zu scheuern und neu aufzukitten. Das sehr mühsame Reinigen der Molekeln wird erleichtert, indem man deren etwa 30 auf einen Stab schiebt, sie mit einer Schraube festklemmt und gleichzeitig putzt.

Bei dem Allem gelang es ohne Schwierigkeit, den vier Seiten des Modells entlang die Neigungsströme richtig zu beobachten. Ertheilte ich

---

[1] S. meine Versuche über 'flache Erregerpaare'. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 596 ff.

den breiteren Zinkplatten in ihren Papptrögen symmetrische Stellungen zur Mitte irgend einer Seite des einzutauchenden Modells, so entstand stets beim Eintauchen ein starker Ausschlag, der die der stumpfen Rhombusecke nähere Platte als positiv gegen die der spitzen Rhombusecke nähere anzeigte. Zwischen Stellen des Längs- und Querschnittes, die gleich weit von einer stumpfen oder einer spitzen Rhombusecke lagen, erfolgte stets der Strom vom Längs- zum Querschnitt. Wurden den Platten am Längs- und am Querschnitt verschiedene Abstände von den stumpfen und spitzen Rhombusecken ertheilt, so dass die Neigungsströme mit dem Strome vom Längs- zum Querschnitt in Conflict geriethen, so zeigte sich der letztere Strom bedeutend verstärkt, wenn die Längsschnittsplatte einer stumpfen, die Querschnittsplatte einer spitzen Ecke nahe war. Als dagegen das Umgekehrte stattfand, hatte ich wirklich die Genugthuung, den Neigungsstrom von der stumpfen zur spitzen Rhombusecke den Strom vom Längs- zum Querschnitt überwältigen, mit anderen Worten, ganz wie am natürlichen Muskelrhombus unter denselben Umständen, den Längsschnitt negativ gegen den Querschnitt zu sehen (vergl. die Figur).

Ich versuchte ferner, die Neigungsströme sich mit den schwachen Strömen des Längs- und des Querschnittes algebraisch summiren zu lassen. Abermals wurden beide Platten vor der einen Seite des einzutauchenden Modells aufgestellt; aber diesmal die eine vor der Mitte der Seite, die andere nahe einer der Ecken. Hier war es, wo aus leicht begreiflichen Gründen die schmalen Platten zur Anwendung kamen. Der Erfolg musste sein, dass am Längsschnitt der Strom zwischen Mitte und stumpfer Ecke in derselben oder der anderen Richtung, wie der von der Mitte zur spitzen Ecke, jedenfalls aber [577] schwächer ausfiel; und dass am Querschnitt der Strom zwischen Mitte und spitzer Ecke in derselben oder der anderen Richtung, wie der von der stumpfen Ecke zur Mitte, jedenfalls aber schwächer ausfiel. Der Erfolg war, dass der Strom stets die Richtung im ableitenden Bogen nach der spitzen Ecke zu hatte, d. h. dass der Neigungsstrom stets den schwachen Strom des Längs- oder Querschnittes überwog, und dawider war nichts zu erinnern. Nicht in der Ordnung erschien dagegen, dass nur an den beiden Längsschnittsseiten das Verhältniss der Stromstärken vor den beiden Hälften der Seite das oben bezeichnete war. An den beiden Querschnittsseiten gestaltete es sich mit Hartnäckigkeit umgekehrt. Diese Abweichung hat hier um so weniger zu bedeuten, als nichts beweist, dass sie sich auf die Neigungsströme, und nicht vielmehr auf die schwachen Ströme des Querschnittes bezog.

Da die Annahme nicht weiter in sich gegliederter peripolarer Mole-

keln in den Muskeln nicht ausreicht, die parelektronomische Schicht und die Umkehr des Gegensatzes zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt an absterbenden Muskeln[1] zu erklären, vielmehr hierzu die peripolaren Molekeln durch peripolare Gruppen dipolarer Molekeln zu ersetzen sind, so beschloss ich, die obigen Versuche auch noch mit einem aus dipolaren Molekeln bestehenden Modell zu wiederholen. Dies ist in Fig. 15. vorgestellt. Der dipolaren Molekeln waren im Ganzen 126. Sie bildeten neun parallele Reihen, von denen die Figur nur fünf vorstellt. Jede Reihe bestand aus sieben peripolaren Gruppen, jede Gruppe aus zwei Molekeln. Jede Reihe überragte immer die vorige um eine Molekel, so dass die Molekeln einer senkrecht auf die neun Längsreihen verfolgten Querreihe, wie *ab* in der Figur, ihr Zink abwechselnd nach der einen und nach der anderen Richtung kehrten. In jeder Gruppe waren die Zinkpole der sie bildenden Molekeln einander so nahe wie möglich, ohne jedoch einander zu berühren; zwischen den Kupferpolen, die sich je zwei Gruppen derselben Reihe zukehrten, und zwischen den [578] einander benachbarten Molekeln zweier Reihen blieb 1 $^{mm}$ Abstand. Der Hof einer peripolaren Gruppe war 25 $^{mm}$ lang, 13·5 $^{mm}$ breit. Die Längsschnittsseite des Rhombus maass demgemäss 187·5 $^{mm}$, die Querschnittsseite 165·6, und der spitze Winkel etwa 47°. Ein Satz von Klötzen diente, um vor einer oder auch zwei aneinander stossenden Seiten auch dieses Modells in dem oben beschriebenen Troge 20 $^{mm}$ breite Rinnen herzustellen; und so gilt ferner Alles vom peripolaren Modell Gesagte für das dipolare.

Nicht minder ist dies im Wesentlichen der Fall, was das Ergebniss der Versuche betrifft. Es wurden vollkommen sicher und regelmässig beobachtet die Neigungsströme zwischen symmetrischen Punkten des Längs- und des Querschnittes, an allen vier Seiten des Modells; und dieselben Ströme sich algebraisch summirend zum Strom von Längs- zum Querschnitt, bald ihn verstärkend, bald ihn schwächend, ja überwiegend, so dass der Querschnitt sich positiv gegen den Längsschnitt verhielt. Unrein war dagegen auch hier das Ergebniss in Bezug auf die Ströme zwischen asymmetrischen Punkten des Längs- und des Querschnittes. Diese hatten durchgängig die Richtung der Neigungsströme. Aber nur an der einen Längsschnitts- und der einen Querschnittsseite ergab sich das Verhältniss der Stromstärken vor den beiden Hälften der Seiten wie es sein sollte. An den beiden anderen Seiten war es verkehrt.

Inzwischen ist hier so wenig, wie am Modell mit den peripolaren Molekeln, deshalb der Versuch als fehlgeschlagen anzusehen, die Nei-

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 555 ff.

gungsströme mittels der schematischen Vorrichtungen nachzuahmen. Es kann vielmehr schon jetzt keine Frage sein, dass die Molecularhypothese sich auch der Erklärung dieser Erscheinung gewachsen gezeigt hat.

Jetzt wünschte ich noch zu erfahren, wie eine andere Hypothese, die man in Betreff der Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile im Muskel machen kann, auf diesem Prüfstein bestehen würde: die nämlich, wonach das Muskelbündel, oder auch die Muskelfibrille, vergleichbar wäre einem kupfernen, am Mantel verzinkten, mit einer Schicht feuchten Leiters bekleideten Cylinder. Es giebt zwar bereits mehrere [579] Gründe, aus welchen diese Hypothese zu verwerfen ist. Allein man kann in diesem Gebiete gar nicht genug Beweise häufen, und so versuchte ich denn, ob ich mit einem Modell, welches diesen elektromotorischen Bau des Muskels voraussetzt, die Neigungsströme richtig erhalten würde.

Fig. 16. stellt einen Theil des neuen Modelles vor. Das rautenförmige Brett hatte genau einerlei Gestalt und Grösse mit dem, welches die peripolaren Molekeln trug. An die Stelle der acht Längsreihen von Molekeln traten hier ebenso viele 144 $^{mm}$ lange, 13 $^{mm}$ breite, gleich den Molekeln 12·5 $^{mm}$ hohe Rechtecke, deren lange Seiten aus Zink, ihre kurzen Seiten aus Kupfer bestanden. In der Figur, welche vier davon, nebst der Art ihrer Befestigung zeigt, ist diesmal das Zink einfach, das Kupfer doppelt contourirt. Zwischen ihren langen Seiten liessen die Rechtecke 1 $^{mm}$ Zwischenraum, und jedes Rechteck überragte das vorige stets um 12 $^{mm}$. Denkt man sich den Muskelrhombus auf eine einfache Schicht von Muskelbündeln oder -fibrillen zurückgeführt, deren Axen sämmtlich einander parallel in einer Ebene liegen; denkt man sich jederseits von dieser Ebene, ihr parallel und äusserst nahe, eine Ebene durch jene Schicht gelegt; denkt man sich endlich die durch die beiden seitlichen Ebenen begrenzte dünne Scheibe senkrecht auf ihre eigene Fläche verdickt, so würde nach der jetzt zu prüfenden Hypothese die Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile darin wesentlich dieselbe sein, wie in dem Modell mit den Rechtecken. Wie man sieht, ist dabei die Annahme gemacht, auf die wir noch zurückkommen werden, dass am schrägen Querschnitt die einzelnen Bündel oder Fibrillen senkrecht durchschnitten seien; da, wenn man sie sich schräg durchschnitten vorstellt, so dass die einzelnen Querschnitte in Einer Flucht liegen, gar nicht zu verstehen ist, wie die elektromotorische Wirkung eine andere sein könnte, als bei senkrechtem Querschnitt.

Das Modell mit den Rechtecken wurde ebenso und mit denselben Hülfsmitteln untersucht, wie die anderen Modelle. Obschon ich aber diese Untersuchung dreimal von Frischem angestellt habe, ist es mir nicht gelungen, mich von dem Dasein [580] der Neigungsströme an

jenem Modell zu überzeugen. Bei symmetrischer Stellung der Platten vor dessen Seiten erfolgten bald stärkere, bald schwächere Ausschläge bald im einen, bald im anderen Sinne. Befanden sich beide Platten vor dem Längsschnitt, und wurde die eine, wie die Figur zeigt, möglichst in die spitze Ecke gerückt, so erschien zwar diese Platte regelmässig negativ gegen die andere, so dass der Anschein eines Neigungsstromes entstand. Dies rührte aber bloss daher, dass alsdann die negative Platte näher dem Querschnitt war; die Stellung hatte in Wahrheit aufgehört, eine symmetrische zu sein. Somit scheint das Ziel erreicht, welches wir uns bei diesem Versuche setzten. Es scheint erwiesen, dass die Hypothese, welche im Bündel oder der Fibrille einen negativen Cylinder mit positiver Hülle sieht, unfähig ist, die Neigungsströme, gleichviel wie sie zu Stande kommen, mit zu umfassen. Inzwischen ist fraglich, ob nicht, wegen des grossen Unterschiedes zwischen den Leitungsverhältnissen an den Modellen und denen am Muskel, an den Modellen ein Unterschied in der Wirkung einem solchen in der Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile entspreche, wo dies am Muskel nicht stattfinden würde.

Schliesslich habe ich auch noch mittels der peripolaren Molekeln den oben S. 102. 103. beschriebenen Muskelrhombus zweiter Art nachgebildet. Die Vorrichtung, die dazu diente, zeigt Fig. 17. Längs der kleineren Diagonale $QQ$, eines Brettchens in Form eines verschobenen Quadrates wurden 13 Molekeln so aufgekittet, dass der ihre Kupferpole verknüpfende kleinere Durchmesser in jener Diagonale lag. Die beiden äussersten Molekeln bildeten die beiden stumpfen Querschnittsecken des Rhombus (vergl. oben ebend.). Jederseits von dieser Reihe, nach den Längsschnittsecken zu, deren eine man bei $L$ in der Figur sieht, folgte eine von 11, dann eine von 9 Molekeln, und so fort; bis zuletzt die siebente Reihe nur noch aus einer Molekel bestand, welche die spitze Längsschnittsecke des Rhombus abgab. Die Höfe der Molekeln waren wie früher 12 $^{mm}$ lang, 14 $^{mm}$ breit. Daraus ergeben sich die grössere Diagonale des Brettchens zu 196, die kleinere zu 168, [581] jede der Seiten zu 129 $^{mm}$, und der stumpfe Winkel zu etwa 98 $^{0}$. Ein Satz von Klötzen diente dazu, auch für dies Modell den Trog passend zu verengen.

Der Erfolg war, wie nach dem Vorigen vorauszusehen, ganz entsprechend dem an den natürlichen Muskelrhomben zweiter Art. Von der einer Längsschnittsecke näheren Ableitungsplatte ging der Strom durch den Bogen zu der einer Querschnittsecke näheren, gleichviel ob sich beide Platten vor der nämlichen oder vor zwei beliebigen Seiten des Rhombus befanden. Die Platten verhielten sich dagegen beziehungsweise gleichartig, wenn sie vor zwei beliebigen Seiten des Rhombus in gleicher Entfernung von den positiven oder negativen Ecken verweilten.

## §. VIII. Die Neigungsströme werden theoretisch hergeleitet aus dem Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt.

Hier wäre der Ort, die theoretische Ableitung der Neigungsströme zu versuchen. Ehe wir uns an diese Aufgabe wagen, ist es nothwendig, über die Theorie des Muskel- und Nervenstromes im Allgemeinen Einiges voraufzuschicken.

Nachdem ich in meinem Werke die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes auch an den aus Molekeln zusammengefügten Modellen nachgewiesen zu haben glaubte, unternahm ich es mit unzulänglichen Mitteln, diese Ströme zu erklären unter der Voraussetzung, ich hätte es in den Muskeln und Nerven und in den Modellen zu thun mit peripolaren Molekeln oder Molekelgruppen von gleicher und beständiger Kraft. Diese sollten, in Längsreihen und Querschichten angeordnet, den Raum gleichmässig erfüllen, so dass auf jede Molekel oder Gruppe ein aliquoter Theil des Raumes, der Hof, käme, innerhalb dessen sie eine identische Lage einnähme. Dabei beging ich einen doppelten Fehler.

Ich sah nämlich zwar richtig ein, dass bei dieser Annahme ohne angelegten Bogen kein Strom durch die Masse des Elektromotors kreise, vielmehr der Strömungsvorgang jeder Molekel auf deren Hof beschränkt bleibe. Ferner war mir klar, dass [582] beim Anlegen eines Bogens an Längs- und Querschnitt, durch den Bogen und durch die Masse des Elektromotors ein Strom entstehe, dessen Verlauf in letzterer ich übrigens nicht anzugeben wusste. Die Entstehung eines Stromes beim Anlegen des Bogens nur an Längs- oder Querschnitt erschien mir als eines der schwierigsten Räthsel. Ich betrachtete diese Entstehung aber als ausgemacht, weil ich, und dies war der eine meiner Irrthümer, mich auf den Erfolg an den Modellen verliess, ohne zu bedenken, dass daran wegen der Polarisation die Voraussetzung der gleichen und beständigen Kraft der Molekeln nicht erfüllt sei. Demgemäss suchte ich die schwachen Ströme, trotz allen Dunkelheiten, auf die ich dabei stiess, von diesem Standpunkt aus zu erklären; und der zweite Irrthum, in den ich verfiel, war, dass ich mich überredete, diese Erklärung sei mir gelungen.[1]

Fünf Jahre später wendete Hr. Helmholtz, welcher Zeuge und Theilnehmer meiner Bemühungen gewesen war, seine Aufmerksamkeit nachhaltig diesem Gegenstande zu, und bewältigte, mit der von ihm auf so vielen Punkten siegreich erprobten zergliedernden Kraft, dessen transscendente Schwierigkeit. Auf Grund seines Satzes von der elektromoto-

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 640 ff.

rischen Oberfläche zeigte er, dass unter jener Voraussetzung die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes in der That unerklärt bleiben. In dem nur dem Längs- oder nur dem Querschnitt angelegten Bogen entsteht kein Strom, weil die Enden des Bogens Stellen von gleicher mittlerer Spannung berühren. Ebenso erklärt sich nicht, unter derselben Voraussetzung, die grössere elektromotorische Kraft längerer oder dickerer Muskeln oder Nerven;[1] und nicht minder unerklärt, lässt sich hinzufügen, bleibt dabei das von mir so genannte Gesetz der Spannweiten, vielmehr würde der Spannungsunterschied zwischen Längs- und Querschnitt unabhängig sein von der Lage der abgeleiteten Punkte, und diese den Strom nur insofern beeinflussen, als der Widerstand des Muskels oder Nerven zwischen den verschiedenen Punkten verschieden ist.

[583] Wie die Sachen stehen, handelt es sich zunächst darum, dies Ergebniss einer zweifellos richtigen Theorie in Einklang zu bringen mit dem der nicht minder zweifellos richtigen Beobachtung an den Muskeln und Nerven. Dazu bietet sich folgender Weg. Ich habe bereits in meinem Werke gezeigt, dass, für den Fall einer den Muskel, der aus gleich kräftigen und beständig wirkenden Molekeln bestehend gedacht wird, bekleidenden unwirksamen Schicht, jede Schwierigkeit für die Erklärung der schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes fortfällt. Alsdann fliesst durch diese Schicht ein Strom vom Längs- zum Querschnitt, ähnlich dem in der Schicht feuchten Leiters, welche einen kupfernen, am Mantel verzinkten Cylinder überzieht.[2] Von diesem Strom wird sich durch einen zwei Punkten der unwirksamen Schicht angelegten Bogen ein Zweig ergiessen. Zeichen und Grösse des diesen Stromzweig erzeugenden Spannungsunterschiedes zu bestimmen, gelingt jetzt in dem Maasse, wie man die elektromotorische Oberfläche der unwirksamen Schicht zu construiren vermag. Im Allgemeinen lässt sich deren Beschaffenheit wohl angeben.

Die unwirksame Schicht hat, entsprechend dem damit, wie wir annehmen wollen, überall gleich dick überzogenen wirksamen Inneren, die Gestalt eines Cylinders. Kreise, die man sich am Mantel des Cylinders dem Aequator parallel von diesem bis zur Grundfläche, dann auf der Grundfläche, deren Umfang concentrisch, gezogen denkt, werden isoëlektrische Curven sein, deren Spannung in der genannten Richtung nach einem verwickelten Gesetz sich abstuft. Da das Strombett sich vom Aequator und den Polen nach der Grenze zwischen Längs- und Querschnitt hin verengt, so werden hier die isoëlektrischen Curven gleichen

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 211. 352.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 649 ff. 674.

Unterschiedes dichter gedrängt sein, als dort. Daraus ergeben sich die Ströme des Längs- und des Querschnittes, deren Anschwellen nach jener Grenze hin, und das Gesetz der Spannweiten. Dass von zwei Muskeln oder Nerven, die sich nur durch die Länge, oder nur durch den Querschnitt ihres wirksamen Inneren unterscheiden, bei gleicher [584] relativer Spannweite des Bogens beziehlich der längere und der dickere überwiegen müsse, lässt sich gleichfalls jetzt einsichtlich machen, wenn auch ohne die kaum ausführbare Rechnung nicht streng beweisen.

Denkt man sich die unwirksame Schicht immer mächtiger, oder immer besser leitend, so kommt ein Punkt, wo in allen Lagen des Bogens die Ströme aufhören merklich zu sein. Da sie bei verschwindender Schicht am Längs- und am Querschnitt, bei nicht leitender Schicht wiederum in allen Lagen des Bogens, gleichfalls unmerklich werden, so giebt es einen Grad der Mächtigkeit und der Leitungsgüte der Schicht, der für das Hervortreten der schwachen Ströme, und der daran sich knüpfenden Umstände, am günstigsten ist.

Es fragt sich nun, ob man ein Recht habe, am Umfang des Muskels und Nerven solche unwirksame Schicht anzunehmen. Am natürlichen Längsschnitt der Muskeln liesse sich als solche das Perimysium, an dem der Nerven das Perineurium auffassen. Am natürlichen Querschnitt könnte der sehnige Ueberzug deren Rolle spielen. Am künstlichen Querschnitt ist die grösste Wahrscheinlichkeit vorhanden dafür, dass die dem Schnitte nächste Schicht sehr rasch unwirksam werde. Am künstlichen Längsschnitt müsste man sich auf das Sarkolemm und das Neurilemm[1] berufen. Es ist aber noch eine andere Möglichkeit zu berücksichtigen, welche schon Hr. Helmholtz selber angedeutet hat.

Es ist nämlich nicht nöthig, damit an der Oberfläche des thierischen Elektromotors ein solcher Strom stattfinde, dass eine völlig unwirksame Schicht vorhanden sei. Es reicht dazu aus, dass sowohl am Längs- wie am Querschnitt die oberflächliche Schicht eine geringere elektromotorische Kraft besitze als das damit bekleidete Innere. Denkt man sich die Kraft der inneren Molekeln in zwei Theile zerlegt, deren einer gleich [585] ist der der äusseren Molekeln, so hat dieser Theil mit der Erzeugung der schwachen Ströme nichts zu schaffen. Der andere Theil, d. h. der Ueberschuss der Kraft der inneren über die der äusseren Molekeln, sendet durch die äussere schwächere Schicht einen Strom vom Längs- zum

[1] Hr. Charles Morgan hat neuerlich auch am künstlichen Längsschnitt der Nerven die schwachen Ströme nachgewiesen. Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 341.

Querschnitt, gleich dem, der in einer völlig unwirksamen, ein wirksames Innere umhüllenden Schicht stattfindet. Man kann sich auch mit wesentlich gleichem Erfolge denken, dass die Kraft der Molekeln von der Oberfläche bis zu einer gewissen Tiefe stetig zunimmt. Dazu theilt man die Schicht, in der die Kraft mit der Tiefe wächst, in hinlänglich viele gleichsam concentrische Schalen, in denen die Kraft als beständig angesehen werden kann. Die $n$ äussersten Schalen werden alsdann von Strömen durchflossen, welche von dem Kraftüberschuss der $(n + 1)$sten Schale über die $n$te stammen. Aus der Deckung aller dieser Ströme entspringt ein Strömungsvorgang, der an der Oberfläche des Muskels sich nicht viel anders gestalten kann, als im ersten Falle.

Es ist nun zwar nicht anzunehmen, dass die oberflächlichen Theile der thierischen Gebilde schon im Leben mit geringerer Kraft wirken als die tieferen. Höchstens könnte man die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt in diesem Sinne verwerthen. Allein schon Hr. Helmholtz hat gefragt, ob die oberflächlichen Theile, welche der Eintrocknung, der Berührung der Luft und fremdartiger Flüssigkeiten ausgesetzt sind, ihre elektromotorischen Kräfte wohl ungeschwächt erhalten. Was den künstlichen Querschnitt betrifft, so ist kein Zweifel, dass von ihm aus die Muskelbündel und Nervenröhren absterben. Auch der künstliche Längsschnitt stellt eine solche Verletzung des Muskels oder Nerven dar, dass wohl an verminderte Leistungsfähigkeit der zunächst daran grenzenden Theile zu denken ist. Hinsichtlich der natürlichen Begrenzungen der thierischen Gebilde wird man nicht gern an eine schädliche Einwirkung des Sauerstoffs der Luft glauben, da Muskeln in Wasserstoff und Stickstoff rascher als in Luft, in dieser rascher als in Sauerstoff sterben.[1] Dagegen [586] lässt sich behaupten, dass es keine Art giebt, die thierischen Gebilde auf ihre Ströme zu prüfen, wobei nicht ihre oberflächlichen Schichten einer Aenderung ihres Wassergehaltes ausgesetzt sind.

Auf alle Fälle fehlt es, wie man sieht, nicht an Gründen für das Zustandekommen des Stromes vom Längs- zum Querschnitt an der Oberfläche der thierischen Elektromotore, dessen man zur Erklärung der fraglichen Erscheinungen bedarf. Hierzu noch den anderen Umstand zu Hülfe zu rufen, durch den die Muskeln und Nerven von der Voraussetzung der gleichen und beständigen Kraft ihrer Molekeln abweichen,

---

[1] G. v. Liebig, Archiv für Anatomie u. s. w. 1850. S. 393. — [Vergl. darüber Hermann, Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln u. s. w. Berlin 1867. S. 41 ff. — Ranke, Die Lebensbedingungen der Nerven. Leipzig 1868. S. 28.]

nämlich ihre seitdem von mir erkannte innere Polarisirbarkeit,[1] erscheint um so weniger geboten, als es keine Vermuthung darüber giebt, wie die schwachen Ströme durch Polarisation entstehen könnten.

Man würde übrigens irren, wollte man, weil diese Ströme jetzt gleichsam auf ein Leichenphänomen zurückgeführt sind, ihnen alle Bedeutung absprechen. Ein Punkt fährt fort, ihnen ein hohes Interesse zu sichern. Das blosse Dasein der schwachen Ströme nämlich widerlegt, schlagender als jeder Versuch, den Verdacht, als entspringe der Strom vom Längs- zum Querschnitt der Berührung der Multiplicatorenden mit dem Muskel oder Nerven. Die Thatsache, dass diese Ströme an einem unverletzten Muskel, wie dem Gastroknemius, nachweisbar sind, dessen Bündel noch sämmtlich tagelang leistungsfähig bleiben und neutral reagiren, lässt keinen anderen Ursprung des Muskelstromes zu, als aus im Muskel vorherbestehenden elektromotorischen Unterschieden.

Bei dem Versuch, diese Einsichten auf die rhombisch zugeschnittenen Muskeln anzuwenden, bietet sich zunächst die Frage dar nach der Ursache der geringeren Negativität schräger Querschnitte. Diese geringere Negativität scheint von nichts herrühren zu können, als von einer Einmischung des [587] beziehungsweise positiven Längsschnittes in den Querschnitt, welche Einmischung auf doppelte Art möglich ist.

Entweder die Querschnitte der einzelnen Bündel, die Einzelquerschnitte, überragen einander stufenförmig. Alsdann brauchen die Einzelquerschnitte selber nicht positiver zu sein. So könnten z. B. unter dieser Annahme die Bündel negativen, am Umfang positiven Prismen gleichen, wobei die elektrische Beschaffenheit ihres Querschnittes unabhängig von dessen Neigung wäre, und die einzelnen Bündel deshalb auch nicht einmal schräg durchschnitten zu sein brauchten.

Oder die Einzelquerschnitte sind schräg, und liegen sämmtlich in Einer Flucht, der des Gesammtquerschnittes. Alsdann können die Bündel nicht mehr als negative Prismen mit positivem Umfang gedacht werden (vergl. oben S. 109), sondern man muss jetzt annehmen, dass in den schrägen Einzelquerschnitten die Längsreihen der elektromotorischen Molekeln einander überragen, und dass demgemäss die Einzelquerschnitte selber minder negativ sind.

Die uns beschäftigende Frage erhält so ein unerwartetes Gewicht, da sie in Betreff der im Muskelbündel stattfindenden Anordnung der ungleichartigen Bestandtheile eine neue Entscheidung in Aussicht stellt. Leider findet sich dieser Weg bald versperrt.

---

[1] S. die Monatsberichte der Akademie, 1856. S. 457; — oben Bd. I. S. 19. — Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w. S. 93 Anm. 1; — oben Bd. I. S. 161. Anm. 2. — Vergl. unten Abh. XX. § III. V.

Die mikroskopische Untersuchung der schrägen Querschnitte lehrt zwar, dass die einzelnen Bündel wirklich schräg durchschnitten sind. Allein erstens stirbt ein Stück des Bündels zunächst dem Querschnitt sogleich ab (vergl. oben S. 113), und man kann nur vermuthen, nicht beweisen, dass die Demarcationsfläche dem schrägen Querschnitt parallel läuft. Zweitens zeigt es sich, dass die schrägen Einzelquerschnitte einander vielfach stufenförmig überragen. Dies ist für sich genug, um die geringere Negativität des Muskelquerschnittes zu erklären, und damit geht die Hoffnung verloren, auch auf diese Art die Unmöglichkeit darzuthun, dass das Bündel ein negatives Prisma mit positivem Umfang sei.

Andererseits ist nicht zu übersehen, dass die geringere Negativität des Gesammtquerschnittes einen doppelten Grund ha- [588] ben kann, d. h. dass neben dem stufenförmigen Ueberragen der Einzelquerschnitte über einander vielleicht auch noch die Einzelquerschnitte selber minder negativ sind; ja dies lässt sich sogar folgendermaassen wahrscheinlich machen.

Bekanntlich zeigen auch die schrägen natürlichen Querschnitte, wie der Achillesspiegel, im Vergleich zu senkrechten künstlichen Querschnitten sehr geringe Negativität. Hier liegen, wie ich zeigte, die schrägen Einzelquerschnitte in Einer Flucht.[1] Die Bündel sind durch die sehnige Ausbreitung schräg abgeschnitten, wie sie in den Seitenrumpfmuskeln der Fische durch die Ligg. intermuscularia schräg durchschnitten sind. [S. oben S. 57]. Gäbe es keine parelektronomische Schicht, so würde man ohne Weiteres schliessen dürfen, dass an den schrägen natürlichen Einzelquerschnitten Längsreihen von Molekeln einander überragen, von wo aus es nah läge, auch den schrägen künstlichen Einzelquerschnitten den gleichen Bau und dem entsprechend geringere Negativität zuzuschreiben.

Die parelektronomische Schicht indess verhindert diese Schlussfolge. Es giebt keinen Versuch, der unmittelbar bewiese, dass, abgesehen von jener Schicht, der schräge natürliche Querschnitt minder negativ ist als ein senkrechter künstlicher. Entfernt man die Schicht mechanisch, so hat man schrägen künstlichen Querschnitt mit einander stufenförmig überragenden Bündeln; zerstört man sie chemisch oder kaustisch, so führt man Bedingungen ein, welche jeden Vergleich ausschliessen.

Wohl aber giebt es einen Versuch, welcher mittelbar das leistet, dessen wir hier bedürfen. Leitet man den Strom des Gastroknemius in der oben S. 88 besprochenen Art von Haupt- und Achillessehne ab (9. in Fig. 2.), und betupft man den Achillesspiegel mit einer gut leiten-

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abh. II. S. 58. 110. Taf. V. Fig. 144. — [Vergl. oben die Abh. XVII. „Ueber facettenförmige Endigung der Muskelbündel".]

den Flüssigkeit, so erhält man, ehe diese entwickelnd wirkt und dadurch einen positiven Ausschlag erzeugt, einen negativen Ausschlag, der von nichts herrühren kann, als davon, dass die gut leitende Flüs- [589] sigkeit eine schwächende Nebenschliessung bildet zwischen dem am schrägen natürlichen Querschnitt zu Tage tretenden positiven Element und dem negativen des Querschnittes selber.[1] Dieser Versuch gelingt auch am schrägen künstlichen Querschnitt, wenn von einem wie in Fig. 12. schräg durchschnittenen Muskel z. B. der obere Abschnitt einerseits mit der spitzen Rhombusecke $l_2$, andererseits mit einem Längsschnittspunkt oberhalb der stumpfen Rhombusecke $l_1$ aufliegt. Man erhält einen starken aufsteigenden Strom, von dem unten klar werden wird, dass er mit dem Strome zwischen Haupt- und Achillessehne gleichen Ursprunges ist. Beim Betupfen des Querschnittes mit Höllensteinlösung habe ich auch hier öfter einen negativen Ausschlag erfolgen sehen,[2] wodurch die Deutung des entsprechenden Ausschlages beim Betupfen des Achillesspiegels bestätigt wird. Ist nun bewiesen, dass an den schrägen natürlichen Einzelquerschnitten die Längsreihen der Molekeln einander überragen, und dass folglich diese Querschnitte an sich, und abgesehen von der parelektronomischen Schicht, minder negativ sind, so hat es gewiss nichts gegen sich, wenn wir diese Schlüsse auch auf die schrägen künstlichen Einzelquerschnitte übertragen; und wir werden im Folgenden von dieser Voraussetzung ausgehen.

Was die Neigungsströme betrifft, so gehören sie offenbar derselben Kategorie an, wie die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes, zwar nicht der Stärke nach, da sie gelegentlich den Strom vom Längszum Querschnitt überwiegen, aber insofern als sie in einem Bogen kreisen, dessen Enden beide den Längsschnitt, oder beide den Querschnitt berühren. Sie setzen demnach zu ihrem Entstehen im Bogen, gleich jenen Strömen, einen bereits durch die Masse des Muskels kreisenden Strom voraus, von dem sie abgeleitet werden. Dieser Strom wiederum, sollte man meinen, bedinge auch hier eine ganz oder beziehungsweise unwirksame Schicht, welche als ein zwei ungleichartigen Bezirken des Muskels angelegter Bogen [590] zu betrachten wäre. Bei näherer Ueberlegung ergiebt sich jedoch diesmal ein anderer Ausweg.

Zwischen dem durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskel und dem Muskelrhombus findet, in Bezug auf ihre Zusammensetzung aus elektromotorischen Molekeln, ein scheinbar geringfügiger, aber wichtiger Unterschied statt. Das senkrechte Muskelprisma kann man in Molekeln

---

[1] Untersuchungen u. s. w. a. a. O. S. 57.

[2] Untersuchungen u. s. w. a. a. O. S. 78.

mit ihren Höfen zerlegen, welche mit Punkten gleicher Spannung aneinanderstossen, oder durch Strömungsflächen von einander getrennt sind, so dass darin, mögen sie getrennt oder verbunden sein, der Strömungsvorgang der nämliche, und auch im letzteren Fall auf die einzelnen Höfe beschränkt bleibt. Am Muskelrhombus würde dies auch gelten, wäre dessen Querschnitt treppenförmig, wie die Umrisse der Höfe in Fig. 18. es vorstellen, wo in gewohnter Art[1] die hellen Pole positiv, die dunklen negativ sind, und der schraffirte Hintergrund den feuchten Leiter zu den metallisch gedachten Molekeln bedeutet. Eine solche Treppengestalt des Querschnittes ist jedoch undenkbar, weil eine Schicht daselbst sogleich abstirbt; während ein Abgeschrägtsein in der Art, wie die Figur es zeigt, genügt, um im Allgemeinen zu bewirken, dass der Strömungsvorgang jeder Molekel nicht mehr auf ihren Hof beschränkt bleibe, sondern in die Nachbarhöfe übergreife. Mittels der Betrachtung der Spannungen gelingt es nicht gut, den Vorgang weiter zu bestimmen; mittels des Grundsatzes der Deckung der Ströme[2] dagegen scheint Folgendes einzuleuchten.

Verfolgt man in Fig. 18., den schrägen Querschnitten parallel, die mit 1, 2,... bezeichneten Reihen dipolarer Molekeln, so erkennt man, dass jede solche Reihe aufgefasst werden kann als begriffen in säulenartiger Anordnung, d. h. dass die mittlere absolute Spannung einer jeden Molekel der Reihe durch die vorige stets im gleichen Sinne verändert wird, mithin der Spannungsunterschied des positiven Pols der ersten und des [591] negativen der letzten Molekel um eine gewisse Grösse erhöht ist.[3] Allerdings machen die elektromotorischen Axen mit der Axe der Säule den spitzen Winkel des Rhombus. Dies verhindert aber nicht, dass die Reihe einen Strom durch sich selber sende in der Richtung, der die positiven Pole der Molekeln mehr zugekehrt sind, als der anderen, welchem Strom in der umgebenden leitenden Masse ein Strom im anderen Sinne entsprechen muss. Es ist dieselbe Bemerkung, wodurch ich (vermuthungsweise) den Stromzuwachs beim extrapolaren Elektrotonus erklärte.[4]

---

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. Taf. VI. Fig. 72; — Bd. II. Abth. I. Taf. III. Fig. 107.

[2] Helmholtz in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 212.

[3] Vergl. Fick, die medicinische Physik. Braunschw. 1856. S. 400.

[4] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 325. 326. — Ich dachte mir, dass in den extrapolaren Strecken die dipolaren Molekeln [aus unbekanntem Grunde] die säulenartige Anordnung mitmachten, der die Molekeln in der intrapolaren Strecke nach der Grotthuss'schen Theorie unterlägen. Dadurch entstehe

Während aber im elektrotonisirten Nerven alle Molekelreihen in gleichem Sinne polarisirt sind, haben wir es hier mit der Resultante aus den Wirkungen abwechselnd gerichteter Reihen zu thun. Denn die dem schrägen Querschnitt $Q_{,}$ nächste Reihe 1. Fig. 18. sendet zwar ihren Strom durch sich selber in der Richtung von der spitzen zur stumpfen Ecke, durch die umgebende Flüssigkeit und einen dem Querschnitt angelegten Bogen also umgekehrt, d. h. so, wie wir dessen zur Erklärung des Neigungsstromes bedürfen; und gleich dieser Reihe wirken [592] die 3., 5., ...., kurz alle ungeraden Reihen. Die 2., 4., ..., kurz alle geraden Reihen wirken dagegen im anderen Sinne; und da wir natürlich auch hier daran festhalten, dass kein künstliches Trennungsmittel zwischen die dipolaren Molekeln einer peripolaren Gruppe dringt, so wird der Querschnitt $Q_{,,}$ durch eine gerade Molekelreihe gebildet, welche gleichfalls durch einen diesem Querschnitt angelegten Bogen einen Strom in der Richtung schickt, wie wir dessen zur Erklärung des Neigungsstromes bedürfen. Es fragt sich aber, was die Resultante aus den Wirkungen aller übrigen Molekelreihen sei.

Berücksichtigt man allein den Querschnitt, so genügt, um dies zu finden, eine Betrachtung, ähnlich der, durch welche man die Wirkung eines Magnetstabes herleitet, den man sich aus Theilchen bestehend denkt, in deren jedem die nördliche und südliche Flüssigkeit in gleichem Sinne nach der Axe des Stabes geschieden sind. Von dem Querschnitt $Q_{,}$ ausgehend, dem ein Bogen angelegt sein soll, fasst man die beiden ersten säulenartigen Reihen dipolarer Molekeln in's Auge, deren Molekeln zu je zweien immer eine peripolare Gruppe ausmachen. Die dem Querschnitt nähere Reihe liefert, wie schon bemerkt, einen Strom in der Richtung, wie wir seiner bedürfen. Die vom Querschnitt um eine sehr kleine Grösse entferntere Reihe liefert einen Strom im anderen Sinne, der den

---

in den Molekelreihen selber ein Strom in der Richtung des erregenden Stromes, dem an der Oberfläche des Nerven ein Strom im anderen Sinne entspreche. Um aber zu erklären, dass diese Ströme mit wachsender Entfernung von den Elektroden abnehmen, fügte ich hinzu, dass die säulenartige Anordnung der Molekeln, je weiter von den Elektroden, um so unvollkommener werde, d. h. dass die in Bezug auf die Richtung des Stromes verkehrt liegenden dipolaren Molekeln, anstatt mit ihren elektromotorischen Axen einen Halbkreis zu beschreiben, nur eine mittlere Lage annehmen zwischen der, die ihnen vermöge der Richtkraft des Stromes, und der, die ihnen vermöge der unbekannten Kräfte im Nerven selber zukomme, [welche in der Ruhe die peripolare Anordnung bedingen]; und so leitete ich auch hier eine Abstufung der Spannungen an der Oberfläche von darunter gelegenen dipolaren Molekeln ab, deren positive Pole sich zwar im Allgemeinen den Punkten höherer Spannung zuwenden, deren Axen jedoch mehr oder minder von der Richtung abweichen, in der die Spannungen abgestuft sind.

ersten bis auf eine sehr kleine Grösse aufhebt. Die ebenso übrigbleibende Wirkung der zweiten Doppelreihe fällt, wegen ihres grösseren Abstandes, noch kleiner aus, die der dritten abermals, u. s. f. bis zum Querschnitt $Q_{,,}$. Die Wirkung im Bogen setzt sich also zusammen aus einer abnehmenden Reihe sehr kleiner Glieder. Da aber die Zahl dieser Glieder sehr gross ist, so entsteht durch deren Summation zuletzt doch ein kräftiger Strom.

Die Neigungsströme am Querschnitt erklären sich so ohne Weiteres. Um auch die zwischen Längsschnittspunkten abzuleiten, bedarf es noch einiger Vorbereitungen. Zunächst vervollständigen wir die Construction der elektromotorischen Oberfläche des Muskelrhombus, d. h. wir vergegenwärtigen uns die Vertheilung der Spannungen an seiner Mantelfläche, welche den beobachteten Erfolg nach sich ziehen würde. Der Längsschnittsseite [593] entlang haben wir diese Vertheilung bereits oben S. 98 annähernd dahin bestimmt, dass dort, wie den grossen Axen der Querschnitte entlang, eine Abstufung der Spannungen von der stumpfen nach der spitzen Ecke stattfinde. Jetzt wickeln wir in Gedanken die krumme Mantelfläche von der einen zur anderen Längsschnittsseite ab, und tragen auf jeden Punkt des so erhaltenen (geometrischen) Rhombus die zugehörigen Spannungen oberhalb als positive, unterhalb als negative Ordinaten auf. An den beiden stumpfen Ecken kommen die höchsten positiven, an den beiden spitzen die höchsten negativen Ordinaten zu stehen. Jeden dieser Eckgipfel umgiebt ein System elektrischer Niveaulinien, die sich von der einen der beiden die Ecke bildenden Rhombusseiten zur anderen erstrecken. An den Längsschnittsseiten gehen die Niveaulinien der beiden Hälften der Mantelfläche stetig in einander über; über den Querschnitt fort stehen sie in Verbindung durch dessen Niveaulinien. Die beiden von den positiven Eckgipfeln nach unten, und die beiden von den negativen Eckgipfeln nach oben sich abstufenden Systeme begegnen einander und verschmelzen in zwei Linien, die sich im Punkte $\mu$ (Fig. 11.) schneiden, und nicht sehr vom Aequator und der Linie $r\varrho$ abweichen werden. Die elektromotorische Fläche hat somit die den Physiologen von gewissen Gelenken her bekannte sattelförmige Doppelkrümmung.[1] Eine ähnliche Fläche erhielte man, wenn man den (geometrischen) Rhombus auf ein einschaliges Rotationshyperboloïd so projicirte, dass die längere Diagonale der Rotationsaxe parallel wäre, und die Normale auf $\mu$ den Mittelpunkt der Hyperbel träfe.

Dass eine so beschaffene elektromotorische Oberfläche die Neigungsströme liefern würde, wie wir sie beobachtet haben, ist klar. In jeder Lage des

[1] Ad. Fick, die medicinische Physik u. s. w. S. 55.

Bogens, in der ein Neigungsstrom erfolgte, ist der Fuss, zu dem er eintrat, der höhere, und im Allgemeinen entspricht der Niveauunterschied der jedesmaligen Stromkraft.[1] Nur eine Abweichung findet statt. Gemäss der beschriebenen Vertheilung müsste sich der Punkt $\mu$ gegen die stumpfen Ecken so negativ verhalten, wie positiv gegen die [594] spitzen. Wir fanden aber, dass er sich auch gegen die stumpfen Ecken, obwohl viel schwächer, positiv verhielt. Unstreitig, weil die gewöhnliche Muskelstromkraft wegen der verschiedenen Entfernung vom Querschnitt die Neigungsstromkraft überwiegt. Damit stimmt, dass auch öfter die eine stumpfe Ecke sich gegen $\mu$ viel schwächer negativ als die andere, oder gar positiv verhält.

Indem wir senkrecht auf die Niveaulinien die Strömungscurven ziehen, erfahren wir das Gesetz der Ströme, welche an der Mantelfläche des Rhombus der beschriebenen Vertheilung entsprechen. Im Allgemeinen ist diese so, als wären die stumpfen Ecken positive, die spitzen negative Einströmungsstellen. Demgemäss theilt sich die aus den stumpfen Ecken über jede Hälfte der Mantelfläche sich ergiessende Elektricität in zwei Ströme, deren einer dem Rande des Querschnittes entlang zur einen, der andere der Längsschnittsseite entlang zur anderen spitzen Ecke einkehrt.

Es handelt sich jetzt darum, zu zeigen, dass solche Vertheilung der Spannungen, oder solcher Stromverlauf, aus der Anordnung elektromotorischer Bestandtheile fliesst, die wir im Muskel annehmen. Wie wir unstreitig dürfen, sobald wir nur die Neigungsströme im Auge haben, denken wir uns der Einfachheit halber die dipolaren Molekeln so gedreht, dass ihre elektromotorischen Axen der grossen Axe der Querschnitte parallel sind. In der an den Querschnitt grenzenden Schicht kehren die Molekeln ihre positiven Pole der stumpfen Ecke zu, in der zweiten liegen sie umgekehrt, in der dritten wieder wie in der ersten, u. s. f. bis zum anderen Querschnitt, wo die Molekeln der Grenzschicht also wieder ihre positiven Pole der stumpfen Ecke zukehren.

Eine der geschilderten ähnliche Vertheilung der Spannungen erhielte man, wenn nur die beiden Grenzschichten in Betracht kämen. Jeder Punkt der an die stumpfe Ecke stossenden Hälfte des Umfanges des Querschnittes wäre dann gleichsam eine positive Elektricitätsquelle, die je näher der Ecke je reichlicher flösse. Umgekehrt verhielte sich die an die spitze Ecke stossende Hälfte. Das Ergebniss wiche also im Allgemei-[595]nen nicht sehr ab von dem, welches die Folge davon wäre, dass allein die stumpfen und spitzen Ecken sich beziehlich als positive und negative Einströmungsstellen verhielten.

---

[1] Unter „Stromkraft" verstehe ich die dem Strome zu Grunde liegende elektromotorische Kraft.

Die Wirkung des Muskelrhombus würde auf die der beiden Grenzschichten zurückgeführt sein, wenn die Wirkungen aller übrigen Schichten einander aufhöben. Dies ist, wie in Coulomb's Theorie der Magnete,[1] so denkbar, dass der Abstand zweier dipolaren Molekeln, die zwei in einer Längsreihe benachbarten peripolaren Gruppen angehören, zurücktritt gegen den Abstand zweier eine Gruppe bildenden Molekeln. Da die Neigungsströme am Querschnitt, sowie die gewöhnlichen Muskelströme, dadurch gleichfalls erklärt sind, so giebt diese Annahme auf das Einfachste Rechenschaft von allen bisher betrachteten Thatsachen; ja die schwachen Ströme des Längsschnittes werden dabei allenfalls auch ohne unwirksame Schicht verständlich, welche aber wegen der schwachen Ströme des Querschnittes nicht zu entbehren ist.

Allerdings würden wir so zu einer etwas anderen Auffassung der peripolaren Gruppen genöthigt. Um deren Untrennbarkeit durch künstliche Mittel zu erklären, nahmen wir an, die Abstände der Molekeln einer Gruppe seien kleine Grössen höherer Ordnung als die Abstände der Molekeln, die zu benachbarten Gruppen gehören.[2] Fortan würden die peripolaren Gruppen als Atomcomplexe zu denken sein, an deren einander eng benachbarten, aber künstlich trennbaren Enden elektromotorische Kräfte ihren Sitz haben, welche die positive Elektricität, der Axe der Gruppe parallel, ihrer Mitte zu treiben.

Alles was wir über die von mir sogenannten elektromotorischen Molekeln muthmaassen können, ist, dass sie auf bestimmte Weise orientirte Heerde einer lebhaften chemischen Thätigkeit [596] sind, derselben unstreitig, welche die Athmung der Muskeln ausmacht. Dies ist so wenig, dass man nicht sagen kann, unsere Vorstellung von den Molekeln werde sonderlich dadurch verdunkelt, dass uns jener einfache Weg verloren gehe, die Untrennbarkeit der peripolaren Gruppen zu erklären. Vielmehr könnte man in der neuen, uns durch die Neigungsströme aufgedrungenen Bestimmung über die Lage der elektromotorischen Flächen in den peripolaren Gruppen gerade umgekehrt einen Fortschritt unserer Kenntniss erblicken.[3]

---

[1] Histoire de l'Académie des Sciences. Année 1789. Avec les Mémoires de Mathématique et de Physique pour la même Année etc. Paris 1793. 4. p. 48; — Gren's Neues Journal der Physik 1795. Bd. II. S. 333.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 324; — Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1851. S. 393; — Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1857. Bd. II. S. 152.

[3] [Fig. 7, Taf. III., zu Abh. XXI. §. XI. gehörig, erläutert die neue Auffassung der elektromotorischen Molekeln. Da am künstlichen Querschnitt sogleich nach seiner Herstellung eine Schicht abstirbt, so ist es unnütz, eine Erklärung dafür zu

Der Bogen ist, wie man jetzt sieht, für die Neigungsströme ebenso überflüssig, wie für die gewöhnlichen Ströme am Längs- und Querschnitt. Zwischen diesen und den Neigungsströmen findet aber der Unterschied statt, dass letztere, um zu kreisen, keiner unwirksamen oder geschwächten Schicht bedürfen. Diese kommt hier nur insofern in Betracht, als die darin vom Längsschnitt zum schrägen Querschnitt fliessenden Ströme sich algebraisch summiren mit den Neigungsströmen. Die Neigungsströme traten uns zuerst als eine Störung jener Ströme entgegen, erscheinen aber jetzt vielmehr als das bedeutendere Phänomen, weil sie nicht wie jene des Absterbens einer oberflächlichen Schicht zu ihrem Entstehen bedürfen.

In Fig. 18 ist solche Neigung des Querschnittes gegen die Faserrichtung angenommen, dass jede Längsreihe von Molekeln die vorige um Eine peripolare Gruppe überragt. Der schräge Querschnitt zeigt, was die elektromotorischen Molekeln betrifft, Stufen, deren jede, nach Breite wie nach Höhe, aus einer einzigen peripolaren Gruppe besteht. Wählt man die Neigung kleiner, so werden die Stufen breiter, indem [597] deren jede mehrere peripolare Gruppen umfasst, die der nämlichen Querschicht von Molekeln angehören; um so mehr, je mehr der Querschnitt einem senkrechten sich nähert (Fig. 19. A.). Wählt man umgekehrt die Neigung grösser, so werden die Stufen höher, indem deren jede mehrere peripolare Gruppen umfasst, die der nämlichen Längsreihe von Molekeln angehören; um so mehr, je mehr der Querschnitt einem Längsschnitt sich nähert (Fig. 19. B.). Da der Winkel zwischen dem Querschnitt und den elektromotorischen Axen der Molekeln den zwischen dem schrägen und dem senkrechten Querschnitt zu einem Rechten ergänzt, so wird die säulenartige Anordnung der die Grenzschicht bildenden Molekeln um so vollkommener, je schräger der Querschnitt. Um so weiter auseinander aber liegen auch diese Molekeln, und daher, unter gewissen Voraussetzungen, das Maximum des Neigungsstromes in Bezug auf den Winkel zwischen schrägem und senkrechtem Querschnitt. Zwischen dem Winkel, der das Maximum herbeiführt, und den relativen Dimensionen des Hofes einer peripolaren Gruppe, findet eine verwickelte Beziehung statt, und es ist ein Zustand der Theorie denkbar, der aus der Beobachtung jenes Winkels einen Schluss auf diese Dimensionen ermöglichte.

Man entsinnt sich, dass wir den dem Neigungsstrom zu Grunde liegenden Spannungsunterschied sehr regelmässig grösser fanden, als den

---

suchen, dass künstliche Trennungsmittel stets zwischen zwei peripolare Molekeln treffen. Das Richtige ist zu sagen, dass die Demarcationsfläche stets zwischen zwei peripolare Molekeln fällt.]

zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt, häufig sogar grösser, als den zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt; und stets grösser als letzteren, wenn wir den Unterschied zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt zu Hülfe nahmen (s. oben S. 100). Auch dieser Umstand ergiebt sich ohne Schwierigkeit aus unserer Theorie. Denn der ungeschwächte Spannungsunterschied der beiden Enden einer säulenartig angeordneten Reihe aus $n$ dipolaren Molekeln ist $2n$mal grösser als der zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt einer peripolar angeordneten Reihe. In Wirklichkeit wird er hier nun freilich nicht entfernt so gross ausfallen. Da aber $n$ eine sehr grosse Zahl ist, so wird er sehr viel kleiner sein können, als jene Grenze, und doch noch immer gross genug, um die gewöhnliche Muskelstromkraft zu überwiegen. Die auffallende Thatsache, [598] dass das Schrägdurchschneiden des Muskels uns ein Mittel ward, ihm stärkere elektromotorische Wirkungen zu entlocken als je bisher, ist so auf denselben Grund zurückgeführt, den ich in der Theorie des Elektrotonus dafür angebe, dass der Stromzuwachs den ursprünglichen Nervenstrom überwiegt, sogar ohne dass dieser eine bemerkbare Abnahme verräth, obschon beide von denselben Molekeln ausgehen.[1]

Dass im Conflict der Neigungsströme mit den gewöhnlichen Muskelströmen am Längs- und Querschnitt bald diese, bald jene obsiegen, erklärt sich theils aus der verschiedenen Neigung der schrägen Querschnitte, wodurch die Stärke der Neigungsströme verändert wird, theils aus dem verschiedenen Zustande der unwirksamen oder geschwächten Schicht, die wir am Muskel annehmen, und von deren Mächtigkeit und Leitungsgüte, wie wir oben S. 113 sahen, die gewöhnlichen Muskelströme abhängen. Wenn aber am unvollständigen Muskelrhombus der schwache Strom am Längsschnitt so leicht den Neigungsstrom überwiegt (s. oben S. 101. 102), so rührt dies wohl daher, dass letzterer hier nur von Einer Grenzschicht ausgeht; und wenn dasselbe am vollständigen Rhombus zwischen $\mu$ und den stumpfen Ecken geschieht, so ist dies vielleicht darauf zu deuten, dass die Spannung in $\mu$ nicht die Mitte hält zwischen der der spitzen und der der stumpfen Ecken, sondern letzterer näher steht. Dies scheint sogar nothwendig, wenn man sich den Rhombus so gestreckt denkt, dass $\mu$ fast mit den beiden stumpfen Ecken zusammenfällt.

Die Erscheinungen an dem Muskelrhombus zweiter Art sind nach dem Vorigen so leicht abzuleiten, dass ich nicht dabei verweile.

Es bleibt übrig, die Neigungsströme an den rhombischen Modellen

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 327. 434—436.

zu betrachten. Auch hier müssen wir zuerst auf die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes zurückgehen. Die Art, wie die Entstehung dieser Ströme an den thierischen Elektromotoren erklärt wurde, findet selbstverständlich keine Anwendung auf die Modelle, sondern die einzige Aus- [599] sicht, meine früheren Angaben über das Verhalten der Modelle mit der Theorie zu vereinbaren, knüpft sich, wie Hr. Helmholtz bemerkt hat, an die daran stattfindende Polarisation, von der jedoch nicht abzusehen ist, wie sie die ihr zugedachte Rolle erfülle. Inzwischen verhält sich die Sache auch vielleicht ganz anders, und viel einfacher. Zu den beiden Fehlern, deren ich mich oben S. 111 bereits anklagen musste, kommt vielleicht, und zwar als *πρῶτον ψεῦδος*, noch der, dass ich mich in dem Vorhandensein der schwachen Ströme an den Modellen geirrt habe.

Um diese Möglichkeit, die sich natürlich hier zuletzt gleichfalls darbot, zu prüfen, verfertigte ich ein neues Modell des Muskels nach Art des in meinem Werke Bd. I. S. 672 beschriebenen, Taf. VI. Fig. 74. daselbst abgebildeten, nur statt aus 72, aus 96 peripolaren Molekeln bestehend, die in sechs Reihen, zu sechszehn Molekeln jede, aufgekittet waren. Als ich dies Modell mit den oben S. 105. 106 beschriebenen unpolarisirbaren Ableitungsplatten untersuchte, gelang es mir nicht, daran die schwachen Ströme mit überzeugender Sicherheit zu beobachten. Ebenso unbefriedigend war, wie man sich erinnert (s. oben S. 107. 108), ihre Erscheinung an den rhombischen Muskelmodellen, da sie sich zwar an zwei Seiten im richtigen, an den beiden anderen aber im falschen Sinne zum Neigungsstrome hinzufügten.

Zwischen den jetzt und den früher von mir angewendeten Modellen bestand ein Unterschied, der vielleicht nicht ohne Einfluss auf den Erfolg an beiden blieb. An den ersteren war das die Molekeln tragende Brett zwischen den Molekeln vielfach durchbohrt, damit rasch die Luft entweiche, und das Wasser zwischen den Molekeln aufsteige (s. oben S. 105). Beim Eintauchen der alten Modelle, wo dies unterblieben war, wurden die Molekeln sichtlich, je weiter nach innen, im Allgemeinen um so später benetzt. Die Folgen solcher ungleichzeitigen Benetzung können, namentlich unter Mitwirkung der Polarisation, sehr mannigfaltige sein, und vielleicht war dies die Ursache, wodurch mir an den alten Modellen die schwachen Ströme vorgespiegelt wurden.

[600] Ich will auf die Erörterung, durch welche Umstände ich möglicherweise sonst noch bei meinen früheren Versuchen getäuscht ward, nicht eingehen. Sie würde höchstens dazu dienen, meine Eigenliebe zu retten. Um hier zur Gewissheit zu gelangen, besonders darüber, welchen Einfluss bei diesen Versuchen die Polarisation übt, ist ein ganz

anderer Weg einzuschlagen, den zu betreten ich noch nicht Zeit fand. Ich meine den schon mehrfach angedeuteten, die Modelle aus Kupfer und Zink zu ersetzen durch Elektroden beständiger Säulen, welche Elektroden je nach dem Elektrolyten, mit dem man sie umgäbe, polarisirt würden oder nicht (s. oben S. 105).[1]

Früher oder später wird der Versuch so der Theorie des Muskel- und Nervenstromes und des Schlages der elektromotorischen Fische auf halbem Wege entgegenkommen müssen. Was die Neigungsströme betrifft, so ist deren Vorhandensein an den äusseren Begrenzungen der aus Molekeln bestehenden rhombischen Muskelmodelle ausser Frage, und an dem Modell aus dipolaren Molekeln auch nach unserer Theorie ganz in der Ordnung. An den Modellen aus peripolaren Molekeln tritt dagegen eine Schwierigkeit ein. Fasst man in Fig. 18. eine dem Querschnitt parallele Reihe peripolarer Gruppen in's Auge, so verlangt die Theorie, dass in der Mitte der Reihe die mittleren Spannungen der beiden eine Gruppe bildenden dipolaren Molekeln einander gleich seien, nach den beiden Enden der Reihe hin aber von einander in verschiedenem Sinne um eine wachsende, wenn auch stets nur kleine Grösse abweichen. Eine entsprechende Vertheilung der Spannungen an den peripolaren Molekelmodellen scheint unvereinbar mit dem Ohm'schen Satze,[2] der in Hrn. Kirchhoff's Brechungsgesetz für elektrische Ströme[3] seine Begründung fand, dass im stationären Zustande die Grenze von Metall und feuchtem Leiter als isoëlektrische Fläche betrachtet werden kann. Andererseits ist nicht einzusehen, weshalb, wenn die zum Rhombus geord- [601] neten peripolaren Molekelmodelle die Neigungsströme liefern, das Modell aus Rechtecken sie versage.

Unsere Aufgabe ist indess die Erklärung der Erscheinungen an den Muskeln, nicht an den Modellen, und die Bedenken, auf die wir an den Modellen stossen, beweisen nichts gegen die Zulässigkeit unserer Betrachtungen an den Muskeln. Diese Bedenken zeigen vielmehr nur von Neuem, dass der Versuch, die elektromotorischen Leistungen der Muskeln durch metallische Modelle zu erläutern, in seiner bisherigen Gestalt ein verfehlter ist, da durch die an den Modellen eintretenden, dem Muskel

---

[1] [Immer würde zwischen den Modellen und den hypothetischen Molekeln noch der Unterschied bleiben, dass an ersteren die Grenze zwischen Metall und Elektrolyt stets eine isoëlektrische Fläche ist, während bei den Molekeln nicht einmal die elektromotorischen Flächen selber in allen Punkten gleiche Spannungsunterschiede zu haben brauchen.]

[2] Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet u. s. w. Berlin 1827. S. 128.

[3] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 500. Anm. 2; — Vergl. G. Quincke, ebendas. 1856. Bd. XCVII. S. 388.

fremden Verwickelungen mehr künstliches Dunkel geschaffen, als Licht auf die natürlichen Verhältnisse geworfen wird.

### §. IX. Die besonderen elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Gastroknemius vom Frosch werden mit Hülfe der Neigungsströme erklärt, und die Richtigkeit dieser Erklärung wird durch verschiedene Versuche bewiesen.

Wie die Sachen stehen, ist die Molecularhypothese über den Ursprung der thierisch-elektrischen Ströme, die schon so manches Räthsel befriedigend gelöst hat, auch der Neigungsströme Herr geworden. Mit solcher Strenge hat sie diese Ströme abgeleitet, dass bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit deren Dasein, wenigstens am Querschnitt, aus der Theorie vorhergesagt werden konnte. Aber selbst wenn die Theorie die Neigungsströme nicht zu erklären vermöchte, oder wenn man aus irgend welchen Gründen die gegebene Erklärung nicht gelten liesse, würde dies, wie ich schon oben S. 93 andeutete, nicht hindern, dass durch die thatsächliche Kenntniss der Neigungsströme Licht verbreitet werde über die sich scheinbar dem Gesetze des Muskelstromes entziehenden elektromotorischen Wirkungen des unversehrten Gastroknemius vom Frosch.

Da wir den Muskelrhombus der Urgestalt des Gastroknemius in Fig. 5. nachgebildet haben (s. oben S. 93. 94), so bedarf es nicht des Beweises, dass dieser Muskel aufzufassen ist als [602] natürlicher Muskelrhombus, d. h. als ein solcher, an dem die schrägen Querschnitte natürliche, mit Sehnenspiegeln, auch mit einer parelektronomischen Schicht überzogene sind. Der Achillesspiegel ist der untere schräge Querschnitt, dessen stumpfe positive Ecke am oberen Rande des Spiegels, in unseren Figuren bei $G'$, seine spitze negative Ecke an der Achillessehne, bei $G_,$, zu suchen ist. Der obere schräge Querschnitt, der seine stumpfe positive Ecke am unteren Ende des sehnigen Streifes an der Tibialfläche bei $\Gamma_,$, seine spitze negative Ecke an der Hauptsehne bei $\Gamma'$ hat, ist, wie früher beschrieben (s. oben S. 70), zusammengeklappt, und seine beiden Hälften sind mit einander verwachsen. Um die Folge dieser verwickelten Anordnung zu beurtheilen, betrachten wir zuerst einen einfacheren Fall.

Stellt man aus den beiden grossen Adductoren oder Semimembranosi desselben Frosches durch symmetrische Schnitte zwei möglichst gleiche Rhomben $A$ und $B$ her, und schiebt man wie in Fig. 20. den Querschnitt von $A$ gegen den von $B$, während $B$ die Enden des Bogens in $l$, und entweder in $l_1$ oder in $l_2$ angelegt sind: so wächst jedesmal der Neigungsstrom, und sinkt wiederum, wenn $A$ von $B$ entfernt wird. Selbst wenn $A$ merklich schwächer ist als $B$, z. B. wenn $A$ durch

warmes Wasser seiner Kraft beraubt oder einem absterbenden Muskel eines anderen Frosches entlehnt wurde, findet die Verstärkung des Neigungsstromes durch das Aneinanderschieben der Querschnitte statt. Schwächung tritt dagegen ein, wenn *A* völlig abgestorben ist, oder durch einen aus Thon geformten Rhombus ersetzt wird. Noch weiter endlich geht die Schwächung, ja manchmal erfolgt Umkehr des Stromes, wenn man *A*, statt in der bisher betrachteten Stellung, in der punktirten *A*, gegen *B* schiebt.

Diese Ergebnisse erklären sich folgendermaassen. Denkt man sich den Bogen entfernt, und die beiden Rhomben in aller Strenge einander gleich, so bleibt beim Aneinanderschieben von *A* und *B* in der ersten Stellung das dynamische Gleichgewicht der Elektricität in beiden Rhomben ungestört, weil in beiden Querschnitten gleiche Vertheilung der Spannungen [603] herrscht (vergl. oben S. 117. 118). Die Punkte $l$, $l_1$, $l_2$ behaupten also nach dem Aneinanderschieben der beiden Querschnitte denselben Spannungsunterschied wie vorher. Aber der durch diesen Unterschied in einem diesen Punkten angelegten Bogen erregte Strom findet im ersteren Falle bessere Leitung durch die Muskeln, als im letzteren. Ist *A* schwächer als *B*, ganz unwirksam, oder umgekehrt wirksam, so nimmt der Spannungsunterschied des Bogens ab, im letzten Falle kann er sich umkehren. Bis zu einem gewissen Punkt kann die Abnahme des Widerstandes die der elektromotorischen Kraft überwiegen, da man denn in Fällen, wo die Stromstärke durch das Aneinanderschieben der Querschnitte wächst, das Sinken der Kraft am Compensator bemerkt.

Ein ähnliches Verhalten giebt sich kund, wenn man ebenso mit zwei durch senkrechte Querschnitte begrenzten Muskeln *A* und *B* verfährt. Der Bogen ist *B* am Aequator und an einem dem Querschnitt nahen Punkte des Längsschnittes angelegt; gegen diesen Querschnitt wird der eine Querschnitt von *A* geschoben. Die Verstärkung, welche erfolgt, so lange *A* nicht über ein gewisses Maass geschwächt ist,[1] kann für einen neuen Beweis der Richtigkeit der oben auf die Helmholtz'schen Bemerkungen gegründeten Theorie der schwachen Längsschnittsströme gelten. Denn stiessen in den beiden aneinandergeschobenen Querschnitten die Höfe der peripolaren Gruppen zusammen, wie in einem idealen Querschnitt des Muskelbündels, und wären dabei, wie ich es mir früher dachte, die Längsschnittsströme möglich, so müsste statt der Verstärkung vielmehr Umkehr des Stromes erfolgen.

---

[1] Eine Umkehr, wie sie bei den Muskelrhomben in dem in Fig. 20. auf Taf. I. punktirten Falle sich manchmal ereignet, kommt unter den gewöhnlichen Umständen hier nicht vor.

Bei unserem früheren Versuch, die elektromotorische Wirkung des Gastroknemius aus seinem Bau vorherzusagen, nahmen wir an, die Scheidewand sei zu vernachlässigen, und die Vertheilung der Spannungen die nämliche, wie in dem in Fig. 9. vorgestellten Falle des zusammengebogenen Muskels (s. oben S. 75 ff.). Diese Vorstellung ist jetzt, wo wir die Neigungsströme kennen gelernt haben, nicht mehr zulässig. Zwar nicht in dem Sinn, als verdiene die Scheidewand jetzt eine Berück-
[604] sichtigung, die wir ihr früher mit Recht absprachen. Sondern da die Neigungsströme auch kreisen, ohne dass ihnen in einer unwirksamen oder geschwächten Schicht eine Bahn geöffnet wird (s. oben S. 123), vielmehr insofern, als auch ohne Scheidewand, bei völliger Verschmelzung der daran stossenden schrägen Einzelquerschnitte, der Neigungsstrom des oberen Querschnittes durch das Zusammenklappen nicht verschwindet, wie der gewöhnliche Muskelstrom. Es hat sich, ganz abgesehen von der Verletzung, als nicht gleichgültig für die elektromotorische Wirkung herausgestellt, ob ein Muskel halbkreisförmig gebogen, oder ob er in der Mitte schräg durchschnitten, und mit seinen beiden Hälften nach Art der Sparren eines Daches oder der Schenkel eines Spitzbogens wieder zusammengefügt wird. Die beiden Hälften des zusammengeklappten oberen Querschnittes unseres natürlichen Muskelrhombus sind somit nicht den beiden idealen Querschnitten zu vergleichen, womit in Fig. 9. die beiden Hälften des zusammengebogenen Muskels aneinanderstossen, sondern den beiden aneinandergeschobenen wirklichen Querschnitten in Fig. 20.

Es folgt hieraus, dass auch mit Berücksichtigung der Neigungsströme die Vertheilung der Spannungen am Gastroknemius noch nicht ohne Weiteres der Theorie entspricht.

Am Achillesspiegel zwar lässt die jetzt erlangte Uebereinstimmung nichts zu wünschen übrig. Als schrägem natürlichen Querschnitt kommt dem Spiegel ein Neigungsstrom zu, der im Bogen von dessen oberem Rande als stumpfer, zur Achillessehne als spitzer Ecke eines Muskelrhombus, also aufsteigend im Muskel fliesst. Dies ist die einfache Erklärung des von uns längs dem Achillesspiegel entdeckten aufsteigenden Stromes, der sich algebraisch summirt zu den schwachen Strömen des Querschnittes. Auch die Ströme zwischen den seitlichen Rändern des Achillesspiegels und dessen Längsmittellinie, die wir einfach als solche schwache Ströme auffassten, sind vielleicht zum Theil Neigungsströme, da die Bündel an den seitlichen Rändern des Achillesspiegels nicht bloss der Länge, sondern, wie es scheint, auch der Quere nach schräg abgeschnitten sind.

[605] Die Theorie verlangt ferner am Längsschnitt der Tibialfläche

zwischen $\Gamma$, als stumpfer und $G$, als spitzer Rhombusecke, wie auch längs den seitlichen Rändern des Achillesspiegels, einen im Muskel aufsteigenden Strom, und die Beobachtung weist ihn nach. Sodann sollte am Längsschnitt der Rückenfläche zwischen $G'$ als stumpfer und $\Gamma'$ als spitzer Rhombusecke der Strom im Muskel absteigen, und sichtlich war dies der absteigende Strom, dem wir hier öfter begegneten (s. oben S. 92).[1] Was aber nicht mit der Theorie stimmt, ist, dass dieser Strom so schwach, und so selten im Stande ist, den schwachen Strom zu überwiegen, der hier im Bogen von den vom Querschnitt entfernteren zu den ihm näheren Punkten fliesst. In der That sollte die Hauptsehne, als spitze Rhombusecke, so stark negativ sein wie die Achillessehne. Der starke aufsteigende Strom zwischen Haupt- und Achillessehne erscheint daher nach wie vor räthselhaft. Endlich am Längsschnitt der Tibialfläche sollte zwischen den seitlich den Achillesspiegel begrenzenden Streifen, worin der Strom richtig aufsteigt, beiderseits von der sehnigen Scheidewand ein Streif liegen, worin der Strom abstiege. Wir wissen bereits, dass es keinen solchen Streif giebt.

Um diese Abweichungen zu rechtfertigen, müssen neue Umstände zu Hülfe genommen werden. Zunächst ist zu bemerken, dass am Muskelkopfe die vorausgesetzten Bedingungen nicht ganz erfüllt sind. Wie man in Fig. 4. und 6. sieht, stossen hier die Bündel mehr senkrecht an die Scheidewand, so dass von ihnen kein merklicher Neigungsstrom ausgehen kann. Da dies aber um so weniger der Fall ist, je tiefer man an der Scheidewand hinabsteigt, so lässt sich daraus wohl geringere Negativität des Muskelkopfes ableiten, aber weder mit Wahrscheinlichkeit solche relative Positivität des Kopfes, wie man sie in vielen Fällen antrifft, noch die Abwesenheit jedes absteigenden Stromes längs der Scheidewand. Es bleibt hier vielmehr nichts übrig, als die Annahme, dass die an die Scheidewand stossenden Enden der Bündel stets mit einer parelektronomischen Schicht bekleidet seien, welche den Neigungsstrom zum grössten Theil aufhebe.

[606] Denkt man sich am schrägen natürlichen Querschnitt eine gewisse Anzahl der die Grenzschicht bildenden dipolaren Molekeln um 180° gedreht, so wird dies den Neigungsstrom ebenso beeinträchtigen, wie den gewöhnlichen Muskelstrom. Erstreckt sich die Lageänderung auf die Hälfte der Molekeln, so werden beide Ströme verschwinden; geht sie weiter, so wird der Längsschnitt gegen den Querschnitt, die stumpfe Rhombusecke gegen die spitze negativ. Hat man einen Rhombus mit einem künstlichen und einem natürlichen Querschnitt, so wird Letzteres

---

[1] Vergl. jedoch unten Abh. XXIII. §. V.

schon eintreten, auch ohne dass die Grenzschicht selber einen verkehrten Neigungsstrom erzeugt, weil der Neigungsstrom vom künstlichen Querschnitt aus sich dem natürlichen Querschnitt entlang geltend macht; und dies wird um so früher der Fall sein, je näher einander beide Querschnitte. Jeder Angriff des natürlichen Querschnittes, der die oberflächlichen Schichten ausser Spiel bringt, reicht aber hin, den ordnungsmässigen Neigungsstrom hervorzurufen.

Nehmen wir an beiden Flächen der Scheidewand solche Parelektronomie[1] an, dass kein merklicher Neigungsstrom übrig bleibt, so ist Alles klar. Der Erfolg wird dadurch derselbe, als wäre keine Scheidewand da, und als lehnten die Bündel der beiden Hälften nicht gegen einander gleich Sparren oder Spitzbogenschenkeln, sondern verschmölzen stetig zu Rundbögen. Der Gastroknemius wird so auf das Schema eines unvollständigen Muskelrhombus zurückgeführt, nach Art des oberen Abschnittes eines schräg durchschnittenen Adductor magnus, wie ihn Fig. 12. zeigt, wenn man ihn sich stark parelektronomisch denkt.

Am Längsschnitt der Tibialfläche verlangt die Theorie jetzt nur den dort wirklich vorhandenen aufsteigenden Strom, herrührend von der Grenzschicht am Achillesspiegel. Am Längsschnitt der Rückenfläche wird der Neigungsstrom von der stumpfen Rhombusecke bei $G'$ aus gewöhnlich durch den [607] Strom nach dem Querschnitt hin überwogen, wie wir dies auch am unvollständigen Rhombus beobachtet haben (s. oben S. 101. 124). Gelegentlich jedoch, bei geringerer Parelektronomie der Scheidewand, verstärkt ihn der Strom zur spitzen Rhombusecke, als welche die Hauptsehne, trotz dem mehr senkrechten Ansatz der oberen Muskelbündel, doch immer zu betrachten ist, und dann ist er der Sieger. Sonst verhält sich der Längsschnitt des Muskelkopfes, abgesehen von den kleinen natürlichen Querschnitten unter Haupt- und Nebensehne, schwach positiv gegen den schrägen natürlichen Querschnitt des Achillesspiegels. Zu diesem Strome tritt aber noch der Neigungsstrom des Achillesspiegels, um so stärker, je tiefer der Ableitungspunkt am Spiegel gewählt ist, am stärksten, wenn dieser Punkt die Achillessehne selber ist.

Daher also jener starke aufsteigende Strom zwischen Haupt- und Achillessehne, der mir lange ein um so peinigenderes Räthsel blieb, eine je wichtigere Rolle ich ihm in meinen Versuchen einräumen musste (s. oben S. 88). Dieser Strom — im Grunde der älteste bekannte Muskelstrom, da er es war, der Galvani's Zuckung ohne Metalle hervorrief — ist nichts als ein Neigungsstrom vom neutralen Längsschnitt zur

---

[1] Statt „grösserer oder geringerer Ausbildung der parelektronomischen Schicht" sage ich fortan „grössere oder geringere Parelektronomie".

negativen spitzen Ecke des unvollkommenen natürlichen Muskelrhombus, den der Gastroknemius, vermöge der Parelektronomie der Scheidewand, vorstellt. Mit einem Neigungsstrom ist somit auch die Lehre von der parelektronomischen Schicht ausgearbeitet worden, und S. 130 sah man schon, dass mit einer leichten Abänderung, die durch die neue Auffassung der peripolaren Gruppen geboten wird, diese Lehre sich völlig mit der Theorie der Neigungsströme verträgt. Dass jener Strom nicht verschwindet, wenn man den oberen Ableitungspunkt nach $G'$ verlegt, ist jetzt sogar leichter verständlich, als der Strom zwischen Haupt- und Achillessehne selber. Denn ohne die Parelektronomie der Scheidewand würde dieser letztere Strom verschwinden, jener fortbestehen.

Es ist übrigens leicht, diese Ströme an regelmässigen Muskeln nachzuahmen, wie ich dies, ohne den Sinn der Anordnung [608] zu verstehen, schon in meinem Werk angab.[1] Dazu ist nur nöthig, einen solchen Muskel schräg zu durchschneiden, wie in Fig. 12, und dessen oberen Abschnitt, in dem wir bereits das Analogon des Gastroknemius erkannten, einerseits mit dem Punkt $l_2$, andererseits mit einem beliebigen Punkte des Längsschnittes oberhalb der stumpfen Ecke, oder, wenn der Muskel hinreichend parelektronomisch ist, mit dem oberen sehnigen Ende $O$ selber aufzulegen. Man erhält einen starken aufsteigenden Strom, der mit dem zwischen Haupt- und Achillessehne einerlei Ursprung hat. Man kann sich auch, wodurch die Aehnlichkeit mit dem Gastroknemius erhöht wird, der in Fig. 9. abgebildeten Anordnung bedienen. Sie liefert zwischen $\Gamma' \varrho \Gamma_{,}$ oder auch $G'$, und $G_{,}$, einen kräftigen Strom im Bogen nach letzterem Punkt, oder nach der spitzen Rhombusecke hin, also, da diese das untere Ende des Gastroknemius vorstellt, entsprechend einem im Gastroknemius aufsteigenden Strom. Die Einerleiheit dieser Ströme mit den im Gastroknemius zu erklärenden spricht sich noch in der schon oben S. 117 erwähnten, und auch bereits in meinen 'Untersuchungen' beschriebenen Thatsache aus, dass man beim Betupfen des schrägen künstlichen Querschnittes eines dergestalt aufliegenden Muskels mit einer gut leitenden Flüssigkeit einen negativen Ausschlag erhält, ganz wie wenn man ebenso mit dem Achillesspiegel eines wenig parelektronomischen Gastroknemius verfährt. Dieser negative Ausschlag wird erst jetzt ganz verständlich, wo wir den Sitz der elektromotorischen Kraft am schrägen Querschnitt selber erkannt haben, während früher dunkel blieb, wie ein bloss dem Querschnitt angelegter Leiter Nebenschliessung für den Strom zwischen Längs- und Querschnitt abgab.

Verbindet man einen Punkt des Längsschnittes der Tibialfläche mit

---

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 78. 109.

einem Punkte des Achillesspiegels, so summirt sich der Neigungsstrom algebraisch zum Strome vom Längs- zum Querschnitt. Nachdem wir an den künstlichen Muskelrhomben erfahren haben, dass die Neigungsstromkraft nicht [609] selten die volle Stromkraft zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt überwiegt, auch den Grund davon durchschaut haben (s. oben S. 124), kann es nicht mehr auffallen, dass der Neigungsstrom des Achillesspiegels gelegentlich den Strom zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt übertrifft; und der beim ersten Blick so anstössige Strom vom Querschnitt durch den Bogen zum Längsschnitt, ist so auf ein Spiel derselben Kräfte zurückgeführt, welche sonst den Strom in umgekehrter Richtung erzeugen.

Die von uns als Regel angenommene starke Parelektronomie der oberen Enden der Gastroknemiusbündel durch den Versuch zu beweisen, erschien natürlich sehr wünschenswerth, aber wegen der Unzugänglichkeit jener Enden im Inneren des Muskels, beim ersten Blick auch so gut wie unmöglich. Dennoch gelingt dies leicht folgendermaassen. Wie schon oben S. 71 und Fig. 6. gezeigt wurde, kann man den Gastroknemius der Länge nach in zwei Hälften zerreissen, deren jede zum unteren Querschnitt die entsprechende Hälfte des Achillesspiegels hat, während am oberen Querschnitt das damit verwachsene Blatt der sehnigen Scheidewand sitzen bleibt. Hier hat man also die gewünschte Gelegenheit, sich von dem elektromotorischen Zustand des oberen Endes der Gastroknemiusbündel unmittelbar zu unterrichten.

Was zuerst das so gewonnene Präparat im Allgemeinen betrifft, so ist dies wegen der verschiedenen Länge und Richtung der Fasern freilich noch weit davon entfernt, für einen regelmässigen Muskelrhombus gelten zu können; und auf regelmässige elektromotorische Wirksamkeit seinerseits in allen Fällen ist um so weniger zu rechnen, als die Misshandlung vieler Fasern beim Zerreissen unvermeidlich ist. Dennoch findet zwischen einer solchen Gastroknemiushälfte und dem ganzen Gastroknemius der grosse Unterschied statt, dass, während letzterer keinen oberen Querschnitt hat und nach dipolarem Schema gebaut ist (s. oben S. 75), die Gastroknemiushälfte in den Besitz eines oberen Querschnittes gelangt und zu peripolarem Schema zurückgekehrt ist. In der That ist sie einem allseitig ausgebildeten Muskelrhombus zu [610] vergleichen, an dem nur die beiden schrägen Querschnitte von verschiedener Gestalt sind, und anstatt einander parallel zu sein, mehr oder weniger senkrecht auf einander stehen.

Hat man einen Gastroknemius, dessen Achillesspiegel wenig parelektronomisch ist, so dass er zwischen Haupt- und Achillessehne einen starken aufsteigenden Strom liefert, in der angegebenen Weise zerrissen,

und legt man die eine oder die andere Hälfte mit der halben Haupt- und Achillessehne (den Punkten *H* und *A* in Fig. 6.) auf: so findet man den aufsteigenden Strom in nur wenig verminderter Stärke vor. Wäre der Kniespiegel, wie der obere schräge natürliche Querschnitt unseres Präparates heissen mag, nicht stark parelektronomisch, so müsste die Anordnung fast unwirksam sein, da man beiderseits spitze Rhombusecken berührt. Benetzt man den Kniespiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit, so erhält man durch Zerstörung der ihn bekleidenden parelektronomischen Schicht einen negativen Ausschlag, und bei stärkerer Parelektronomie des Achillesspiegels wird das Präparat absteigend wirksam. Benetzung der entsprechenden Hälfte des Achillesspiegels erzeugt dann wieder einen positiven Ausschlag, und kann dem aufsteigenden Strom von Neuem die Oberhand verschaffen. Dieser Versuch ist einerlei mit dem in meinem Werke beschriebenen am Biceps und den beiden Köpfen des Semitendinosus,[1] welche Muskeln, gleich unserem jetzigen Präparat, an beiden Enden Sehnenspiegel, d. h. schräge natürliche Querschnitte besitzen. Bringt man diese Muskeln mit ihren sehnigen Enden zwischen die Bäusche, so erhält man bald auf-, bald absteigenden, bald gar keinen Strom.[2] Benetzt man mit einer entwickelnden Flüssigkeit den unteren Sehnenspiegel, so erfolgt ein starker aufsteigender Ausschlag; der Ausschlag ist umgekehrt, wenn man den oberen Spiegel benetzt.

Man kann sich aber auch ganz unmittelbar von der stets sehr bedeutenden Parelektronomie des Kniespiegels überzeugen, indem man die eine Thonspitze diesem Spiegel, die andere [611] einem geeigneten Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes anlegt. Selten findet man mehr als eine Spur des gesetzmässigen negativen Verhaltens des ersteren gegen den letzteren Punkt vor.

Legt man beide Thonspitzen dem Kniespiegel an, so findet man bei geringerer Parelektronomie, oder nachdem man durch ein entwickelndes Bad die parelektronomische Schicht zerstört hat, daran die nämliche Vertheilung der Spannungen, wie am Achillesspiegel, mit dem Unterschiede natürlich, dass der Neigungsstrom statt aufsteigend, absteigend ist. Indem sich dieser absteigende Strom algebraisch zu den gewöhnlichen schwachen Strömen des Querschnittes hinzufügt, wird der elektromotorische Mittelpunkt des Kniespiegels nach oben verschoben, wie der des Achillesspiegels nach unten, und um den aufsteigenden Strom zwischen einem diesem Mittelpunkte und einem der Hauptsehne, oder dem Längs-

---

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 106. 107.

[2] A. a. O. Bd. I. S. 497.

schnitt in ihrer Umgebung, näheren Punkte zu erhalten, muss man mit den Spitzen der Hauptsehne ganz nahe rücken.

In einigen Fällen war sonderbarerweise der Neigungsstrom am Kniespiegel aufsteigend. Da er aber dabei zugleich am Achillesspiegel abstieg, so ist klar, dass man es hier mit einer unstreitig durch die Dehnung verursachten Störung zu thun hatte, die nichts gegen die Richtigkeit unserer Schlüsse beweist. Ich habe diese Störung nicht weiter untersucht.

Es giebt noch eine andere Art zu zeigen, dass nur die Parelektronomie der Scheidewand das obere Ende des Gastroknemius verhindert, sich gleich der Achillessehne als spitze Rhombusecke zu verhalten. Man spannt den Gastroknemius in der von mir dazu angegebenen Vorrichtung[1] aus, und schlitzt ihn mit einem scharfen spitzen Messer von der Tibialfläche her längs der einen oder der anderen Seite der sehnigen Scheidewand bis zu deren hinterem gewölbten Rande, so genau es sich thun lässt, auf. Die Wundlippen verkleben alsbald, so dass man ohne darum zu wissen die Verletzung nicht bemerkt. Das [612] elektromotorische Verhalten aber muss jetzt annähernd so erscheinen, als sei die Parelektronomie der Scheidewand aufgehoben; nicht ganz so, weil 1. es unmöglich ist, den Schnitt rein längs der ganzen Ausdehnung der Scheidewand zu führen, wie auch keine weitere Zerstörung anzurichten; 2. aus nahe liegenden Gründen die Operation auf die eine Seite der Scheidewand beschränkt bleiben muss; 3. die auf der Scheidewand übrigen Stoppeln der durchschnittenen Bündel, so lange wie sie nicht völlig abgestorben sind, einen aufsteigenden Neigungsstrom erzeugen, welcher dem absteigenden Neigungsstrom entgegenwirkt, den die von der Scheidewand getrennten Bündel hervorrufen, wie in Fig. 20. der punktirte Muskelrhombus $A_1$ den Neigungsstrom in dem, $B$ anliegenden Bogen aufhebt.

Trotzdem bewährt sich dieser Versuchsplan ganz vorzüglich. Legt man bei mässiger Parelektronomie des Achillesspiegels die Thonspitzen den Wundlippen in verschiedener Höhe an, so findet man, dass der vor der Verletzung dort vorhandene aufsteigende Strom einem absteigenden gewichen ist. Benetzt man den Achillesspiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit, so nimmt der absteigende Strom ab, und kehrt sich auch wohl wieder um. Aehnlich ist bei grösserer Parelektronomie der Erfolg zwischen Haupt- und Achillessehne, indem jetzt erstere als spitze Ecke eines künstlichen negativ gegen letztere als spitze Ecke eines natürlichen Muskelrhombus sich verhält. Sehr lehrreich ist, was sich ereignet, wenn man bei hoher Parelektronomie des Achillesspiegels eines längs der

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 67. 76. 130. Taf. I. Fig. 86. 87. 88.

Scheidewand aufgeschlitzten Muskels dem Achillesspiegel selber die Thonspitzen anlegt. Alsdann erhält man hier ganz ebenso einen absteigenden Strom, wie bei geringer Parelektronomie des Achillesspiegels an der Tibialfläche des nicht aufgeschlitzten Muskels einen aufsteigenden Strom. Nichts zeigt wohl deutlicher als diese Thatsache, dass letzterer Strom auf den Neigungsstrom des Achillesspiegels zurückzuführen ist.[1]

Es ist somit gewiss, dass die stets in hohem Grade vorhandene Parelektronomie der Scheidewand die Ursache der Abweichungen ist, welche das elektromotorische Verhalten des [613] unversehrten Gastroknemius auch bei Berücksichtigung der Neigungsströme zeigt. Die Thatsache der starken Parelektronomie des einen Endes eines Muskels bei wechselnder Parelektronomie des anderen ist übrigens nicht so fremdartig, wie sie beim ersten Blick scheinen mag. Die früher von mir geäusserte Vermuthung, dass die beiden Enden eines langen Muskels verschieden parelektronomisch sein könnten,[2] hat sich so sehr bestätigt, dass dies, wie ich unten zeigen werde, vielmehr die Regel auch an den absolut genommen sehr kurzen Oberschenkelmuskeln des Frosches ist. Allerdings ist hier bald das eine, bald das andere Ende stärker parelektronomisch. Doch ist nicht zu übersehen, dass am Gastroknemius die beiden natürlichen Querschnitte beständig sehr verschiedenen Bedingungen ausgesetzt sind.

Wenn nach dem Allen noch zweifelhaft sein könnte, dass die elektromotorischen Eigenthümlichkeiten des Gastroknemius auf seinem Bau beruhen, so müsste dieser Zweifel weichen vor der Thatsache, dass es noch einen Muskel giebt, der fast genau dieselben Eigenthümlichkeiten zeigt, und dass dieser dem Gastroknemius ganz ähnlich gebaut ist, der innerste Kopf nämlich des Triceps femoris Cuv., den ich von Anfang an mit dem Gastroknemius zusammengestellt habe, als ebenso stark, sicher und ausdauernd wirksam in aufsteigender Richtung.[3] Der Triceps — ich verstehe darunter, der Kürze halber, allein den innersten Kopf dieses Muskels — hat so wenig wie der Gastroknemius einen oberen natürlichen Querschnitt, ja er verwirklicht das oben S. 70 vom Gastroknemius gegebene Schema insofern noch genauer denn dieser Muskel selber, als an ihm die Unregelmässigkeit fehlt, welche am Gastroknemius die Nebensehne bedingt [vergl. oben S. 54]. Demgemäss findet man am unteren Sehnenspiegel des Triceps dieselbe Verschiebung der Span-

---

[1] [Ueber andere Arten, die Parelektronomie der Scheidewand aufzuheben, s. unten Abh. XXIII. §. VII., Abh. XXIV. §. I. und Abh. XXVI. §. V.]

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 339.

[3] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 492. 493. 496. 497.

nungen, wie am Achillesspiegel; am Längsschnitt seiner Femoralfläche denselben aufsteigenden Strom, wie an dem der Tibialfläche des Gastroknemius; und zwischen oberer und unterer [614] Sehne des Triceps, wie zwischen Haupt- und Achillessehne am Gastroknemius, einen starken aufsteigenden Strom, der nicht verschwindet, wenn der obere Ableitungspunkt an den oberen Rand des Sehnenspiegels verlegt wird. Aufschlitzen des Triceps längs der Scheidewand an der Femoralfläche ruft lebhafte absteigende Wirkung hervor. Zwischen oberem Rand des Sehnenspiegels und oberer Sehne erhält man aber am Triceps stets absteigenden Strom, was am Gastroknemius nur ausnahmsweise vorkommt; und um am Triceps zwischen einem tieferen Längsschnittspunkt der Femoral-, und einem höheren Querschnittspunkt der Bauchfläche den verkehrten Strom vom Quer- zum Längsschnitt erfolgen zu sehen, muss der Höhenunterschied der beiden Punkte grösser gewählt werden, als in dem entsprechenden Versuch am Gastroknemius.[1]

---

[649] **Zweite Abtheilung.**[2]

## Vom Strom des querdurchschnittenen M. gastroknemius des Frosches.

§. X. Die Abweichungen vom gesetzlichen elektromotorischen Verhalten, die der querdurchschnittene Gastroknemius zeigt, beruhen gleichfalls auf den Eigenthümlichkeiten seines Baues, und nicht, wie Hr. Budge will, auf einem im Muskel aufsteigenden, von Längs- und Querschnitt unabhängigen Strom.

Am unversehrten Gastroknemius bleibt nach Vorigem keine nennenswerthe Schwierigkeit zurück. Hrn. Budge's auf Beobachtungen an solchen Muskeln gestützter Angriff auf das Gesetz des Muskelstromes beruhte auf groben Missverständnissen, und die neuen von uns entdeckten Ströme, die beim ersten Blick ausserhalb dieses Gesetzes zu stehen schienen, sind ebenfalls darauf zurückgeführt. Hr. Budge hat aber auch

---

[1] [Ueber einen wichtigen Umstand, der auch abgesehen von der Parelektronomie der Scheidewand den von ihr ausgehenden Neigungsstrom schwächt, vergl. unten Abh. XXIV.]

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 649.

Versuche am querdurchschnittenen Gastroknemius angestellt, und glaubt auch hier zu Ergebnissen gelangt zu sein, die mit meinem Gesetz unverträglich sind.

1. Lege man am Gastroknemius zwei Querschnitte an, so [650] erhalte man zwischen beliebigen Punkten der Schnittflächen stets einen im Muskel aufsteigenden Strom.

2. Durch drei Querschnitte, deren mittlerer die Axe des Muskels hälftet (nach Hrn. Budge's verkehrter Anschauung im Aequator liegt), stellt man aus dem Gastroknemius zwei gleich lange Stücke dar, die an beiden Enden durch künstlichen Querschnitt begrenzt sind. An jedem dieser Stücke sei der Strom vom (angeblichen) Längsschnitt zum unteren Querschnitt stärker als der zum oberen, ja letzterer Strom habe an der oberen Hälfte in der Regel, und an der unteren auch zuweilen, die umgekehrte Richtung, d. h. der künstliche Querschnitt verhalte sich positiv gegen Längsschnitt.

3. Verbinde man einen höher gelegenen Querschnitt mit einem tiefer gelegenen Punkte des (angeblichen) Längsschnittes, so erfolge nicht stets, wie das Gesetz es verlange, ein absteigender Strom, sondern wenn man nur ein kleines Stück am Kopf abgeschnitten habe, sei der Strom acht Mal unter zehn aufsteigend, mache man den Querschnitt tiefer, so sei er zwar häufig absteigend, wenn aber der künstliche Querschnitt nicht mehr ganz frisch sei, erhalte der aufsteigende Strom das Uebergewicht. Durch Anfrischen des künstlichen Querschnittes trete vorübergehend wieder der absteigende Strom hervor.[1]

Wie man nach dem Eingangs Gesagten (s. oben S. 63. 64) erräth, erklärt Hr. Budge diese Versuche durch die Annahme, dass sich zu dem durch das Gesetz des Muskelstromes vorgesehenen Strome vom Längs- zum Querschnitt, den er den 'künstlichen' nennt, ein im Muskel aufsteigender Strom, der 'natürliche' Muskelstrom (Hrn. Matteucci's Courant propre), algebraisch hinzufüge. Der letztere Strom sei (Hr. Budge vergisst zu sagen, bei gleichem, oder nicht rascher als die elektromotorische Kraft wachsendem Widerstande des Kreises) um so stärker, je weiter aus einander gelegene Punkte des Muskels in's Spiel kommen. Das abwechselnde Ueberwiegen des 'natürlichen' und des 'künstlichen' Muskelstromes im letzten Versuch aber stellt sich Hr. Budge offenbar so vor, dass [651] der künstliche Querschnitt mit der Zeit weniger negativ und durch das Anfrischen wieder negativer werde.

Bringen wir also zuerst ein durch zwei senkrecht auf die Muskelaxe geführte Schnitte (*ss'*, *σσ'* Fig. 4. Taf. I.) begrenztes Stück des

[1] Erste vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 208. 209.

Gastroknemius mit diesen Schnitten zwischen die Thonschilder der Zuleitungsgefässe. Hr. BUDGE hat Recht, und ich wusste es längst, es erfolgt in diesem Falle meist ein ziemlich starker aufsteigender Strom. Um aber daraus den Schluss zu ziehen, den Hr. BUDGE zog, oder um statt dessen den Erfolg zu erwarten, dem er entgegensah, — dazu gehört die Naivetät, von der er uns schon mehrere Proben gab. Wie Hr. BUDGE den Umfang des Gastroknemius ohne Weiteres für Längsschnitt nimmt, so nimmt er hier, unbesehen, den quer durch den Muskel geführten Schnitt für Querschnitt. Wie aber dort der angebliche Längsschnitt in Wirklichkeit Querschnitt ist, so wird sich jetzt zeigen, dass gelegentlich auch scheinbarer Querschnitt Längsschnitt sein kann. Auch hier hätte Hr. BUDGE mit nur wenig Achtsamkeit leicht schon in bekannten Grundsätzen die Erklärung seiner vermeintlichen Entdeckungen gefunden.

Zunächst hat Hr. BUDGE völlig den oben S. 94 und S. 115 besprochenen Umstand übersehen, dass ein schräger Querschnitt sich positiv gegen einen senkrechten verhält. Prüft man genauer den oberen Querschnitt unseres Präparates, so findet man, dass die Fasern daran schräg zerschnitten sind. Hingegen an dem unteren Querschnitt sind sie vergleichsweise senkrecht zerschnitten. Dies ist die natürliche Folge davon, dass die Fasern um so steiler verlaufen, von je tieferen Punkten der sehnigen Scheidewand sie entspringen (s. Fig. 4.). Wäre dies nicht der Fall, so würden die untersten Fasern an der Tibialfläche unter dem doppelten Winkel von dem divergiren, unter welchem die oberen Fasern beiderseits an die sehnige Scheidewand stossen, und der Muskel würde in der Tibialfläche unten schwalbenschwanzförmig auslaufen. Die Gesammtheit der untersten Fasern würde einen Raum einschliessen, vergleichbar einem durch die Tibialfläche in der Axe durchschnittenen Kegel. Da nun aber die Fasern unten zusammenschliessen, so müssen sie, wie auch der Au- [652] genschein lehrt, sich mehr und mehr der Senkrechten nähern. Also schon so wird verständlich, dass solches Präparat aufsteigenden Strom giebt, da der schräge obere Querschnitt sich positiv verhalten muss gegen den senkrechten unteren Querschnitt. Dass dieser Umstand wirklich von Belang ist, erhellt daraus, dass wenn man unten, gleichviel in welcher Richtung, den Querschnitt schräg anlegt, der aufsteigende Strom an Stärke abnimmt, bei grosser Schräge günstigen Falls sogar sich umkehrt.

Rückt man mit dem oberen Querschnitt $ss'$ herab, so bleibt der Erfolg derselbe, und die Erklärung fährt zu gelten fort, da der obere Querschnitt stets der schrägere ist. Rückt man mit dem unteren Querschnitt $\sigma\sigma'$ hinauf, so bleibt gleichfalls der Erfolg derselbe, d. h. man erhält noch stets einen aufsteigenden Strom, da aber innerhalb des dicksten Theiles

des Muskels die Richtung der Bündel sich nicht merklich ändert, so kommt ein Punkt, wo unsere Erklärung ihre Grundlage einzubüssen scheint. Bei einiger Aufmerksamkeit ergiebt sich aber auch jetzt noch ein Grund für den aufsteigenden Strom, selbst wenn man nur den gewöhnlichen Muskelstrom berücksichtigt. Man mag nämlich ein solches, durch zwei auf die Muskelaxe senkrechte Querschnitte begrenztes Gastroknemius-Präparat noch so sorgfältig mit dem schärfsten Rasirmesser anfertigen, stets nimmt es mehr oder weniger die Beschaffenheit an, die aus Fig. 8. erhellt, welche, wie schon oben S. 73 gesagt wurde, einen von vorn gesehenen Frontalschnitt des linken Gastroknemius vorstellt. An beiden Querschnitten findet sich in der Mitte in grösserer oder geringerer Ausdehnung reiner Längsschnitt, während er sich aber oben kegelförmig hervorwölbt, ist er unten dellenförmig eingezogen. Es liegt daher der obere Querschnitt dem Thonschilde vorzugsweise mit seiner positiven Mitte $m'$, der untere mit seinem negativen Rande $r$, an, und so muss ein aufsteigender Strom entstehen (Bogen 1. in der Figur).

Die Richtigkeit dieser Erklärung ist leicht zu beweisen, indem man statt die Gesammtquerschnitte mittels der Thonschilder, einzelne Punkte der Querschnitte mittels der Thonspitzen [653] untersucht. Alsdann findet man den aufsteigenden Strom nur zwischen $m'$ und $r_,$, zwischen $m_,$ und $r'$ (Bogen 2.) dagegen steigt der Strom in dem Muskel abwärts. Hrn. Budge's Angabe, dass der Strom zwischen beliebigen Punkten beider Querschnitte stets aufsteige, ist einfach falsch.

Bei diesem Versuch zeigt sich noch ein Umstand, der unsere ganze Aufmerksamkeit verdient. Zwischen $m'$ und $m_,$ und zwischen $r'$ und $r_,$ sollte kein Strom entstehen, da die beiden ersten Punkte dem Längsschnitt, die beiden letzten gleich schrägem Querschnitt angehören. Dennoch findet man zwischen $r'$ und $r_,$ regelmässig einen aufsteigenden, zwischen $m'$ und $m_,$ nicht selten einen schwächeren absteigenden Strom (Bogen 3. und 4.). Der erstere Strom ist, wie ich kaum zu sagen brauche, der Neigungsstrom des Achillesspiegels und geht von dessen Grenzschicht aus. Er ist daher um so stärker, je weniger parelektronomisch der Achillesspiegel; und er wächst, wenn man, während die Thonspitzen $r'$ und $r_,$ berühren, den Spiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit betupft. Der gelegentlich zwischen $m'$ und $m_,$ absteigende Strom ist der Neigungsstrom der Scheidewand, und geht von deren Grenzschicht aus. Dass bei gleicher Parelektronomie dieser Strom sich hier leichter bemerklich macht als am unversehrten Muskel, rechtfertigt sich durch folgende Betrachtung. Die den absteigenden Neigungsstrom erzeugende Grenzschicht der Scheidewand ragt in Wirklichkeit kaum höher hinauf

als der obere Rand des Achillesspiegels, weil die oberen Bündel fast senkrecht an die Scheidewand stossen (s. oben S. 130). Daraus folgt, dass die Hauptsehne, als fast gleich entfernt vom positiven oberen Rande der Grenzschicht des Achillesspiegels, und vom negativen oberen Rande der Grenzschicht der Scheidewand, sich neutral verhält unter Umständen, wo bei der gegenwärtigen Anordnung der Punkt $m'$ sich deutlich negativ zeigt. Die Ströme zwischen $m'$, $m_,$; $r'$, $r_,$ übertreffen leicht an Stärke, und überdauern namentlich, die beim ersten Blick allein berechtigten Ströme vom Längs- zum Querschnitt zwischen $m'$, $r_,$; $m_,$, $r'$. Auch die Erklärung dieses Umstandes folgt leicht aus Fig. 8. Die durch- [654] schnittenen Bündel sterben schneller ab, so dass deren elektromotorische Wirkung gegen die der unversehrten Bündel zurücktritt. Die so geschwächten Bündel sind in der Figur dunkler gehalten. Während also der gewöhnliche Muskelstrom zwischen $m'$, $r_,$; $m_,$, $r'$ schon fast erlischt, können zwischen $m'$, $m_,$; $r'$, $r_,$ die Neigungsströme noch in voller Stärke kreisen.

Werden statt einzelner Punkte der Gesammtquerschnitte diese selber abgeleitet, so versteht es sich, dass die Neigungsströme sich gleichfalls in das Ergebniss mischen. Man übersieht jetzt, auf wie verwickelte Art dies Ergebniss zu Stande kommt. Erstens ist im Allgemeinen der obere Querschnitt schräger als der untere. Zweitens drängt sich in der Mitte des oberen Querschnittes reiner Längsschnitt zur Berührung, während unten der mehr senkrechte Querschnitt des Randes vorspringt. Drittens bekämpfen einander der Neigungsstrom der Scheidewand und des Achillesspiegels. Unter den gewöhnlichen Umständen siegt letzterer, so dass der Strom zwischen den Gesammtquerschnitten schliesslich aus dreifachem Grunde aufsteigt.

Hat man stark parelektronomische Gastroknemien, an denen der Neigungsstrom des Achillesspiegels nicht mehr in merklicher Grösse aufsteigt, oder gar bereits absteigt, so wird der Erfolg zwischen den Gesammtquerschnitten unbeständig. Bald steigt zwischen den Gesammtquerschnitten der Strom, vermuthlich aus den beiden ersterwähnten Gründen, noch spurweise auf, selbst wenn er schon zwischen Haupt- und Achillessehne, und längs dem Achillesspiegel, absteigt; bald ist er dort abwärts gerichtet, selbst wenn er hier noch aufsteigt. Im letzteren Falle mag es der Neigungsstrom der Scheidewand sein, der sich geltend macht. Man findet von diesem Verhalten, welches in so schlagendem Widerspruch mit Hrn. Budge's Angaben steht, ein Beispiel in der sogleich zu erörternden dritten Tabelle. Bei hoher Parelektronomie, wenn zwischen Haupt- und Achillessehne ein kräftiger Strom absteigt, fand ich auch den Strom zwischen den Gesammtquerschnitten stets im gleichen Sinne vor.

Wird endlich am Achillesspiegel die parelektronomische Schicht zerstört, so entsteht zwischen den Gesammt- [655] querschnitten unfehlbar ein starker aufsteigender Strom. Vergl. Tab. III.

Wir gehen über zur Betrachtung des Falles, wo der eine Ableitungspunkt am Muskelumfange liegt. Wir nennen dabei, und überhaupt fortan, oberen und unteren Strom den mit dem oberen und den mit dem unteren Querschnitt gewonnenen, obere und untere Stromkraft die Spannungsunterschiede, welche diesen Strömen zu Grunde liegen. Hr. Budge ist hier abermals in den Fehler verfallen, der sich durch seine ganze Arbeit zieht, den Muskelumfang in allen seinen Punkten schlechthin für Längsschnitt zu nehmen. Ich brauche wohl nicht noch einmal darauf zu bestehen, dass dieser Umfang, soweit der Achillesspiegel reicht, also zum grössten Theil, natürlicher Querschnitt ist, und dass nur der Tibialfläche entlang sich ein schmaler Streif natürlichen Längsschnittes herabzieht. Wir haben also vielmehr zwei Fälle zu unterscheiden, den, in welchem der zweite Ableitungspunkt dem Längsschnitt der Tibialfläche, und den, in welchem er dem Achillesspiegel angehört.

(1.) Der erstere Fall ist der einfachere, obschon schwerer im Versuch zu behandeln, da die Ableitung vom Längsschnitt nicht gut anders als mittels einer Thonspitze gelingt. Man legt das Gastroknemius-Präparat, die Tibialfläche nach oben, auf die dreieckige Glasplatte des allgemeinen Trägers, schiebt gegen den einen Querschnitt das Thonschild des einen Zuleitungsgefässes, und berührt mit der Thonspitze die zur Ableitung gewählten Punkte der Tibialfläche, nachdem man sie, um sie wiederzufinden, mit Russ bezeichnet hat. Tab. III. enthält das Ergebniss solcher Versuche an fünf Gastroknemien. Die Zahlen und Vorzeichen darin haben dieselbe Bedeutung wie in den beiden ersten Tabellen (s. oben S. 95). In der ersten wagerechten Reihe finden sich die Wirkungen zwischen den sehnigen Enden, d. h. zwischen Haupt- und Achillessehne. Dann folgen zwei Abtheilungen, deren obere die obere, die untere die untere Stromkraft bei grösster, kleinster und mittlerer Spannweite zeigt; im letzteren Falle berührte die Thonspitze die Tibialfläche des Präparates in der Mitte seiner Länge. Die letzte [656] Reihe enthält die Wirkungen zwischen den Gesammtquerschnitten, wobei die Thonspitze mit dem zweiten Zuleitungsgefässe vertauscht wurde. Endlich die beiden senkrechten Spalten, welche einem jeden Gastroknemius entsprechen, zeigen die nach diesem Plane gemessenen Stromkräfte vor und nach der Zerstörung der parelektronomischen Schicht durch Kreosot.

Aehnliche Versuche finden sich in der letzten wagerechten Doppelreihe der zehnten Tabelle, in der die Zahlen und Vorzeichen auch noch dieselbe Bedeutung haben. Doch geschah hier die Messung allein bei

mittlerer Spannweite, und die Gastroknemien waren nicht besonders parelektronomisch. Die Muskeln in Tab. III. dagegen stammten, bis auf den letzten, von erkälteten Fröschen, und waren stark parelektronomisch. Sie sind in der Tabelle nach dem wachsenden Spannungsunterschiede ihrer sehnigen Enden, oder nach ihrer abnehmenden Parelektronomie geordnet, daher ein Muskel obenansteht, der, einem erfrorenen Frosche entlehnt, zwischen den sehnigen Enden absteigend wirkte.[1]

Nach unserer Anschauung muss das Ergebniss dieser Versuche folgendes sein. Bei hoher Parelektronomie des Achillesspiegels, wenn dessen Grenzschicht keinen merklichen Strom emporschickt, muss die obere Stromkraft der unteren sich nähern. Zu erreichen braucht sie dieselbe, aus den erwähnten Gründen, nicht. Die Spannweite kann dabei keinen anderen Einfluss üben, als an regelmässig gefaserten Muskeln, d. h. die mittlere Spannweite muss die grösste Spannung liefern. In der That, dadurch dass der Achillesspiegel so neutral ward wie der Längsschnitt, ist, abgesehen von der aus Fig. 8. erhellenden, verschiedenen Beschaffenheit der beiden Querschnitte, die Vertheilung der Spannungen an der Oberfläche unseres Gastroknemius-Präparates dieselbe geworden, wie an einem regelmässigen, durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskel. Wird die parelektronomische Schicht zerstört, so tritt zu den vorigen Wirkungen der aufsteigende Neigungsstrom. [657] Dieser ist um so stärker, je grösser die Spannweite. Seine Kraft fügt sich hinzu zur unteren und zieht sich ab von der oberen Kraft zwischen Längs- und Querschnitt. Die untere Kraft muss also die vor Zerstörung der Schicht übertreffen, um so mehr, je grösser die Spannweite, die obere muss unter die früher beobachtete sinken, um so mehr, je grösser die Spannweite; ja bei grösster, vielleicht schon bei mittlerer Spannweite kann der aufsteigende Neigungsstrom den absteigenden oberen Strom überwiegen. Haben wir ihn doch oben S. 100 sogar den Strom zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt überwältigen sehen. Bei mässiger Parelektronomie wird zwischen diesen beiden Grenzzuständen ein mittlerer stattfinden. Die untere Kraft wird von vorn herein die obere übertreffen; jene wird von vorn herein um so grösser, diese um so kleiner sein, je grösser die Spannweite. In welchem Grade dies gewöhnlich der Fall ist, kann nur der Versuch lehren. Umgekehrt bei so hoher Parelektronomie, dass die Grenzschicht des Achillesspiegels absteigend wirkt, wird die obere Kraft vermehrt, die untere vermindert, um so mehr, je grösser die Spannweite. Die erstere wird von vorn herein die letztere übertreffen;

[1] Monatsberichte der Akademie. 1851. S. 392; — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 34. 38.

ja bei grösster, vielleicht schon bei mittlerer Spannweite wird der absteigende Neigungsstrom den aufsteigenden unteren Strom überwiegen.

Diese Schlüsse finden sich in Tab. III. so bestätigt, dass man glauben könnte, sie seien der Tabelle entlehnt. Vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht nähert sich das Verhältniss des Mittels der oberen zu dem der unteren Kraft bei den drei Spannweiten um so mehr der Einheit, je stromloser der Muskel zwischen sehnigen Enden ist. Bei Muskel II. ist das Verhältniss wie von — 1·000 : + 1·007. Es wird um so kleiner, je stärker die Muskeln aufsteigend wirken, und es übersteigt bedeutend die Einheit an dem erfrorenen Muskel mit abwärts wirksamer Grenzschicht des Achillesspiegels. Dabei giebt 7 Mal auf 8 die mittlere Spannweite die grösste Kraft. Nur die Wirkung zwischen den Gesammtquerschnitten bietet die schon bezeichnete Abweichung dar. Im Allgemeinen hält diese Wirkung Schritt mit dem Unterschiede zwischen [658] oberer und unterer Kraft. Bei Muskel III. beläuft sie sich auf eine blosse Spur $\left(\frac{1}{14 \cdot 2}\right.$ des Mittels der absoluten Werthe der oberen und unteren Kräfte). Bei Muskel II. aber ist sie bereits absteigend, obschon zwischen den sehnigen Enden der Muskel noch aufsteigend wirkte, und das Mittel der unteren das der oberen Kräfte übersteigt. Bei mittlerer Parelektronomie und Spannweite lehrt Tab. X., dass allerdings die untere Kraft die obere ansehnlich (im Verhältniss von 1·73 : 1·00 im Mittel aus 10 Versuchen) übertrifft. Nicht ein einziges Mal ist jedoch vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht die obere Kraft umgekehrt, was Hr. Budge für die Regel ausgiebt. Nach der Zerstörung ändert sich dies freilich, im Einklang mit der Theorie. Nun erscheint die obere Kraft verkleinert, die untere vergrössert. Beides ist um so mehr der Fall, je grösser die Spannweite. Die wenigen Ausnahmen hiervon in Tab. III. rühren daher, dass nach Zerstörung der Schicht der Strom von der eben erst erreichten Höhe rasch wieder herabsinkt,[1] wodurch die Zunahme der Kraft beim Uebergehen von kleinerer zu grösserer Spannweite leicht verdeckt wird. Bei grösster Spannweite ist jetzt regelmässig die obere Kraft umgekehrt. Sogar bei mittlerer Spannweite ist sie dies oft, oder sie ist wenigstens absolut, vollends im Vergleich zur unteren Kraft, tief gesunken. Zwischen den Gesammtquerschnitten steigt ein kräftiger Strom empor, der den früher vorhandenen um so mehr übertrifft, je parelektronomischer der Muskel war. Wirkt endlich der Muskel, wie I. in Tab. III., zwischen den sehnigen Enden vor Zerstörung der Schicht absteigend, so zeigt sich, wie die Theorie es verlangt,

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 35.

die obere Kraft um so grösser, die untere um so kleiner, je grösser die Spannweite, ja bei der grössten Spannweite ist die untere Kraft verkehrt. Zwischen den Gesammtquerschnitten steigt der Strom abwärts. Die Zerstörung der Schicht hat dasselbe Verhalten zur Folge, wie bei geringerer Parelektronomie, nur bleiben die Wirkungen sehr viel schwächer, weil der Muskel im Absterben begriffen ist.[1]

[659] Dass auch bei diesen Versuchen der Triceps sich dem Gastroknemius ähnlich verhält, geht schliesslich gleichfalls aus Tab. X. hervor. Auch am Triceps übertrifft bei mittlerer Parelektronomie und Spannweite der untere Strom den oberen stets bereits um eine gewisse Grösse; aber nach Zerstörung der parelektronomischen Schicht wird das Verhältniss des letzteren zum ersteren ein kleineres, wenn auch nicht so klein wie am Gastroknemius, ja der obere Strom kann verkehrt erscheinen (III. A.). Doch zeigt es sich, dass der Triceps durch das Kreosot mehr leidet als der Gastroknemius, so dass in der Hälfte der Versuche die absolute Verstärkung des unteren Stromes vorüber war, ehe sie gemessen werden konnte.

(2.) Was den zweiten Fall betrifft, wo der eine Ableitungspunkt, statt am Längsschnitt, sich am Achillesspiegel befindet, so ist zunächst klar, dass er sich vom vorigen nicht unterscheidet, wenn der Achillesspiegel bis zur Unwirksamkeit parelektronomisch ist, und die Ableitung vom Achillesspiegel ohne Zerstörung der Schicht geschieht, z. B. durch Thon, der mit einer passend verdünnten Kochsalzlösung angeknetet ist.[2] Bei minder parelektronomischem Spiegel besteht der Unterschied zwischen dem jetzigen und dem vorigen Falle darin, dass auf der einen Seite, anstatt des neutralen Längsschnittes, negativer Querschnitt berührt wird, der sich jedoch theils wegen seiner Schräge, theils wegen der noch vorhandenen Parelektronomie nur schwach negativ verhält. Schwach negativ verhält sich aber auch nur, aus den oben S. 140 erwähnten Gründen, im Ganzen genommen der obere Querschnitt. Mit sinkender Parelektronomie nähert sich also die mittlere Spannung des Achillesspiegels der des oberen Querschnittes, ja es ist kein Grund da, weshalb nicht zuletzt der Achillesspiegel negativer werden sollte, als der obere Querschnitt, da dann ganz abgesehen vom Neigungsstrome der obere Strom schon verkehrt sein würde. Mit sinkender Parelektronomie tritt nun aber zugleich der aufsteigende Neigungsstrom hervor. Man sieht, wie viel leich- [660] teres Spiel er jetzt hat, um den oberen Strom verkehrt erscheinen zu lassen, als im Falle (1.), wo ihm der Unterschied zwischen Längsschnitt und

[1] Untersuchungen a. a. O. S. 38.

[2] Vergl. oben Bd. I. S. 161.

schrägem künstlichen Querschnitt entgegenstand. Findet er den oberen Strom nicht schon verkehrt, so braucht er, um jenen Erfolg herbeizuführen, hier doch nur den geringen Unterschied zwischen schrägem natürlichem und künstlichem Querschnitt zu besiegen.

Doch leugne ich auch hier, dass bei mittlerer Parelektronomie und Spannweite der obere Strom in der Regel verkehrt sei, wie Hr. Budge behauptet. Ich sah ihn neuerdings so nur einmal in zehn Versuchen, worin die Muskeln zweimal auf Eiweisshäutchen, zweimal auf Thonschildern, zweimal auf Bäuschen mit gesättigter Kochsalz-, zweimal auf solchen mit schwefelsaurer Zinklösung, und zweimal auf solchen mit destillirtem Wasser getränkt lagen. Da jenes eine Mal bei Anwendung des destillirten Wassers vorkam, dessen sich Hr. Budge stets zur Ableitung bediente, so entstand die Frage, ob vielleicht der Strom damit leichter verkehrt erscheine. Allein in fünf ferneren Versuchen mit destillirtem Wasser hatte der obere Strom die gewöhnliche, also im Ganzen nur 1 Mal auf 15 die verkehrte Richtung.

Auch Hr. Cima erhielt übrigens einen aufsteigenden, d. h. verkehrten Strom von einer Säule aus den unteren Abschnitten von Gastroknemien, die in ihrer oberen Hälfte querdurchschnitten und so angeordnet waren, dass der Querschnitt jedes Muskels die Achillessehne des folgenden berührte. Wenn der Querschnitt die Länge der Muskeln hälftete, war die Säule unwirksam.[1] Hr. Cima und Hr. Budge hatten vielleicht zufällig wenig parelektronomische Gastroknemien, oder sie schützten die Muskeln nicht sorgfältig genug vor Entwickelung ihres Stromes. Berühren des Achillesspiegels mit dem Finger genügt bekanntlich, um den Strom sehr zu verstärken. Dann haben sie offenbar keine besondere Sorgfalt auf Herstellung des [661] oberen Querschnittes verwendet, da sie die Schwierigkeit nicht erwähnen, auf die man dabei trifft. So war in dem Gemisch von Längsschnitt in der Mitte und schrägem Querschnitt am Rande, welches der obere Querschnitt stets darbietet (s. oben S. 140), das positive Element vermuthlich mehr als nöthig vertreten. Dass in Hrn. Cima's Versuch die aufsteigende Wirkung sank, wenn er die im Kreise befindlichen Achillesspiegel-Strecken verkürzte, erscheint in der Ordnung. Endlich Hrn. Budge's Angabe, wonach der Strom besonders häufig verkehrt sein soll, wenn man nur ein kleines Stück vom Kopf des Muskels abschneide (S. oben S. 138), erklärt sich aus der auf die Scheidewand fast senkrechten Richtung der obersten Bündel (s. oben

[1] Saggio storico-critico e sperimentale sulle contrazioni galvaniche e sulle correnti elettro-fisiologiche. In Zantedeschi's Raccolta fisico-chimica italiana, ec. 1848. vol. III. p. 504. §. 22.

S. 130. 141), in Folge deren der angebliche Querschnitt zu fast reinem Längsschnitt wird.

Dagegen hat Hr. Budge darin Recht, dass er den oberen Strom, nachdem dieser eine Zeitlang im richtigen Sinn, also absteigend, floss, sich öfters umkehren, und beim Anfrischen des oberen künstlichen Querschnittes absteigend wiederkehren lässt. Nur ist dies keine Entdeckung des Hrn. Budge, sondern auch diese Thatsache findet sich bereits in meinem Werk ausdrücklich beschrieben und erörtert,[1] was ihm nicht hätte entgehen dürfen. Dort hätte er gelernt, da seine Sinne zu blöde waren, damit er selber es merke, dass, wo er in seinen Versuchen Längsschnitt vor sich zu haben glaubte, er es mit natürlichem Querschnitt zu thun hatte. Dadurch wird aber der Stand der Dinge hier ein ganz anderer. Es handelt sich nicht mehr, wie Hr. Budge glaubt, um Umkehr des Gegensatzes zwischen Längs- und Querschnitt, sondern die Frage ist nur noch, weshalb der ob seiner Schräge und Parelektronomie gegen den künstlichen Querschnitt ursprünglich positive Achillesspiegel bei längerem Aufliegen negativ dagegen werde. A. a. O. deutete ich dies so, dass einestheils der natürliche Querschnitt durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht an Negativität zunehme, anderentheils der künstliche Querschnitt mit der Zeit an Negativität verliere, durch Anfrischen aber [662] wieder daran gewinne, und diese Erklärung ist auch noch heute richtig, wenn gleich nicht in dem Sinn, in dem ich sie damals gab.

Damals dachte ich mir, in Folge der unvollkommenen Versuche mit polarisirbaren Elektroden, dass überhaupt die Muskeln bei längerem Aufliegen durch eine mit ihrem Querschnitt vor sich gehende Veränderung an elektromotorischer Kraft verlieren, und dass Erneuerung des Querschnittes die Kraft zum Theil wieder herstelle.[2] Hr. Budge, der seinen ‘natürlichen’ Strom deshalb abwechselnd die Oberhand gewinnen und unterliegen lässt, weil der ‘künstliche’ sinke und sich durch Anfrischen des Querschnittes wieder hebe, hat diese Lehre ohne die Kritik von mir entnommen, die hier am Orte gewesen wäre, und zu der er die Mittel besass, da er mit meinen unpolarisirbaren Zuleitungsgefässen arbeitete. Denn sobald ich selber in den Besitz dieser Mittel gelangt war, fand ich, dass jene ältere Meinung auf einer durch die Polarisation erzeugten Täuschung beruhte, und dass innerhalb der Fristen, welche hier in Betracht kommen, die elektromotorische Kraft des Muskels, abgesehen von

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 122.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 714; — Bd. II. Abth. I. S. 19. 145. 150. 179. 283. 557; — Abth. II. S. 108. 113. 122.

der inneren Polarisation, beständig bleibt.[1] Danach würde unsere Deutung des Umschlagens der Stromrichtung zwischen natürlichem und künstlichem Querschnitt untergraben sein. Selbst wenn man annimmt, dass der natürliche Querschnitt schräger wäre als der künstliche, bliebe zu erwägen, dass die gewöhnlich zur Ableitung gebrauchten Flüssigkeiten die Kraft der parelektronomischen Schicht nur vermindern, nicht vernichten,[2] und dass also ein negatives Verhalten des natürlichen gegen den künstlichen Querschnitt dergestalt schwer herauskommen würde. Wenn aber dies einmal erreicht wäre, könnte das Erneuern des künstlichen Querschnittes nichts mehr daran ändern. Am wenigsten liesse sich von diesem Gesichtspunkt aus Hrn. Budge's An- [663] schauung rechtfertigen, da es für seinen 'natürlichen' Strom keinen Grund giebt, weshalb er mit der Dauer des Aufliegens wachsen sollte, wie für die Negativität des natürlichen Querschnittes ein solcher in der Zerstörung der parelektronomischen Schicht liegt.

Wenn ich jetzt die von der Umkehr des Stromes zwischen Achillesspiegel und oberem Querschnitt früher gegebene Erklärung dennoch aufrecht erhalte, so beruht dies darauf, dass das Gesagte zunächst nur für den Querschnitt regelmässig gefaserter Muskeln gilt. Dagegen sind allerdings Verhältnisse denkbar, unter denen die Negativität eines Querschnittes bei längerem Aufliegen sinken und durch Erneuerung des Querschnittes wiederhergestellt werden kann. Dies trifft am Gastroknemius zu, wie ein Blick auf Fig. 8. lehrt. Sterben die dunkler gehaltenen, durchschnittenen Bündel ab, so verwandelt sich der schräge künstliche Querschnitt in Längsschnitt; wird der scheinbare Querschnitt wieder angefrischt, so hat man statt Längsschnitt wieder schrägen Querschnitt u. s. f.

Und somit ist auch hier Alles soweit erklärt, wie es sich der Mühe verlohnt, dergleichen Erscheinungen in's Einzelne zu verfolgen, nachdem einmal der allgemeine Grundsatz erkannt ist, aus dem sie abzuleiten sind.

---

[1] Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1862. Bd. VIII. S. 409 Anm. 1. — [Vergl. oben Bd. I. S. 125. Anm. 1; — unten Abh. XX. §. X.]

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 58. 101. 102.

## Dritte Abtheilung.

### Vom Strome der mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches.

§. XI. Die mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches bieten so wenig wie der Gastroknemius eine sichere Spur eines nach der Richtung ihrer Axe darin vertheilten Gegensatzes.

Aus dem vorigen Paragraphen erhellt, dass die elektromotorischen Unregelmässigkeiten am querdurchschnittenen Gastroknemius, welche Hr. Budge auf einen unabhängig von Längs- und Querschnitt im Muskel aufsteigenden Strom deutet, ebenso [664] leicht auf Eigenthümlichkeiten des Gastroknemiusbaues zurückzuführen sind, wie die am unversehrten Muskel. In allen Fällen, wo eine beim ersten Blick aus dem Gesetz des Muskelstromes nicht zu rechtfertigende Wirkung auftrat, haben wir bei näherer Betrachtung dafür einen aus diesem Gesetze fliessenden Grund gefunden. Der Gastroknemius hat keinen solchen Eigenstrom, wie einst Hr. Matteucci wollte, und wie jetzt Hr. Budge will.

Gesetzt aber, er hätte ihn, so wäre natürlich nicht anzunehmen, dass dieser Strom unter allen Muskeln nur dem Gastroknemius, und zwar nur am Frosch, zukomme. Hr. Budge ist hierin, wie nicht zu leugnen, einen Schritt über Hrn. Matteucci hinausgegangen, der wirklich bei jener Annahme stehen blieb.[1] Er schreibt auch den übrigen Muskeln des Frosches, und unstreitig den Muskeln im Allgemeinen, dergleichen Ströme zu. Seine zweite vorläufige Mittheilung, vom 25. October 1862, sucht diese Behauptung zu begründen am Adductor magnus, Sartorius, Tibialis anticus, den Peronei, dem Biceps, Rectus internus und Semimembranosus des Frosches. Dazu vergleicht er unter einander die beständigen Ablenkungen, die er an seinem Multiplicator mit dem oberen und mit dem unteren Strom der durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Muskeln erhielt.

So will Hr. Budge in 19 Versuchen am Adductor magnus 18 Mal den unteren Strom stärker gefunden haben als den oberen. Die Unter-

---

[1] Die Fortschritte der Physik im Jahre 1845. Berlin 1847. S. 517; — Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 527 ff.; — E. du Bois-Reymond, On Signor Carlo Matteucci's Letter to H. Bence Jones etc. London 1853. 8. p. 15; — Die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851. Berlin 1855. S. 734.

schiede, um die es sich dabei handelt, sind sehr bedeutend. Gewöhnlich gab der untere Strom etwa 70°, der obere nur etwa 50° beständiger Ablenkung. Dies entspricht an einem Sauerwald'schen Multiplicator, wie Hr. Budge ihn benutzt, einem Verhältniss der Stromstärken etwa wie von 2 : 1. Es kommen aber noch viel grössere Unterschiede in Hrn. Budge's Reihen vor, ja zweimal war der obere Strom am Ad- [665] ductor magnus aufsteigend, d. h. er ging vom Querschnitt durch den Bogen zum Längsschnitt. Daraus wird auch hier auf einen aufsteigenden Eigenstrom geschlossen.

Aehnliches wird von den anderen Muskeln berichtet. Besonders häufig hat Hr. Budge vom Tibialis anticus und dem Biceps verkehrte Ausschläge erhalten, d. h. den künstlichen Querschnitt scheinbar positiv gegen den Längsschnitt gefunden. Aufsteigend, wie im Gastroknemius und dem Adductor magnus, soll der Eigenstrom noch im Tibialis anticus sein, absteigend im Biceps. Im Rectus internus wird er als absteigend, im Semimembranosus als aufsteigend bezeichnet, aber wohl nur durch einen Flüchtigkeitsfehler, wie sie bei Hrn. Budge häufig sind,[1] denn aus den mitgetheilten Zahlen würde das Gegentheil folgen. Am Sartorius unterscheidet Hr. Budge drei Fälle. Im einen soll der Eigenstrom aufsteigen, im anderen Null sein, im dritten absteigen.

Hr. Budge behauptet endlich, dass der Strom, den man von den Muskeln beim Auflegen zweier symmetrischen Längsschnittspunkte erhält, stets einerlei Richtung hat mit dem Unterschiede des oberen und unteren Stromes.

Hr. Budge sagt zwar nicht ausdrücklich, stellt sich aber doch wohl vor, dass es die einzelnen Muskelbündel sind, zwischen deren beiden Enden ein elektromotorischer Unterschied herrsche, so dass jedes Bündel gleich einer voltaischen Säule wirke. An sich ist dies nicht so undenkbar. So genügte z. B., um an meine Hypothesen anzuknüpfen, die Annahme, dass innerhalb der Reihen peripolarer Gruppen dipolarer Molekeln einzelne, so zu sagen lose dipolare Molekeln vorkämen, die ihre gleichnamigen Pole nach einerlei Richtung kehrten.

Inzwischen tritt bei jeder solchen Annahme, welche die Bündel als den Sitz eines nach ihrer Axe vertheilten Gegensatzes betrachtet, für Hrn. Budge eine Schwierigkeit ein, an die er nicht gedacht hat, weil er den Bau des Gastroknemius nicht [666] kennt, oder, wenn er es vorzieht, obschon er diesen Bau sehr genau zu kennen vor-

[1] Vergl. oben S. 522. — In der zweiten vorläufigen Mittheilung wird zweimal die Achillessehne als positiv gegen die Hauptsehne und der Querschnitt als positiv gegen den Längsschnitt bezeichnet.

giebt.[1] Bei keiner Annahme der Art gelangt man nämlich dazu, die von Hrn. BUDGE an diesem Muskel behauptete Positivität höherer Punkte gegen tiefere herzuleiten. Wären die Gastroknemiusfasern an ihrem oberen Ende positiv, an ihrem unteren negativ, so würde der Achillesspiegel, als Inbegriff der unteren Enden, gleichmässig negativ sein, und diese Negativität würde sich am Längsschnitt vom Rande des Spiegels in der Faserrichtung bis zur Hauptsehne und dem Sehnenstreif an der Tibialfläche abstufen. Mit anderen Worten, die Vertheilung der Spannungen unterschiede sich nicht merklich von der durch das Gesetz des Muskelstromes geforderten. Ebenso wenig würde ein unterer Querschnitt aus diesem Grunde negativ gegen einen oberen sein. Ein jeder der beiden Gesammtquerschnitte böte von Aussen nach Innen in umgekehrter Ordnung dieselbe Anzahl von Einzelquerschnitten aus derselben Höhe der Fasern dar, d. h. die mittlere Spannung der beiden Querschnitte wäre dieselbe. Hält also Hr. BUDGE seine Behauptungen am Gastroknemius aufrecht, so wird er auf diese Auffassung seiner angeblichen Ströme verzichten und sich mit der Vorstellung begnügen müssen, dass sie nicht der Richtung der Fasern, sondern der Muskelaxe folgen. Bei dieser Vorstellung scheint es kaum, als ob diese Ströme noch auf tiefere Bedeutung Anspruch machen könnten. Die einzige Möglichkeit wäre, dass sie auf die Ausbreitung der Nerven Bezug hätten. Allein am Adductor magnus z. B. liegt der Hilus fast genau in der Mitte des Muskels, und es wäre also nicht zu verstehen, dass zwei gleich weit davon entfernte Querschnitte einen so bedeutenden Unterschied zeigten.

Eine andere Möglichkeit, wie solche Ströme entstehen könnten, hatte ich längst in's Auge gefasst. Ich habe bereits wiederholt angezeigt (s. oben S. 115 Anm. 1.), was ich näher zu begründen noch nicht Zeit fand, dass lebende Muskeln einen hohen Grad innerer Polarisirbarkeit besitzen, so dass sie durch [667] lang anhaltende Ströme von der Ordnung des Muskelstromes im umgekehrten Sinne von dem, in welchem sie durchströmt wurden, stark elektromotorisch wirksam werden.[2] Da die Muskeln *in situ* von ihren eigenen Strömen und den Strömen anderer Muskeln der Länge nach durchflossen sind, so wäre es also ganz gut möglich, dass sie auch unabhängig vom Gesetz des Muskelstromes ihrer Länge nach elektromotorisch wirkten. Bei näherer Prüfung zeigt sich aber auch diese Einsicht unfähig, die BUDGE'schen Behauptungen zu erklären. Im Vergleich mit Gastroknemius und Triceps dürften die

[1] Zweite vorläufige Mittheilung. A. a. O. S. 416.
[2] Vergl. unten Abh. XX. §. III.

übrigen Unter- und Oberschenkelmuskeln, wegen ihres mehr regelmässigen Baues, *in situ* nur schwache Ströme entwickeln. *In situ* wären jene beiden Muskeln also aufsteigend, die übrigen absteigend durchflossen. Danach müssten jene absteigend, diese aufsteigend polarisirt sein. Den Triceps hat Hr. Budge nicht berücksichtigt, dem Gastroknemius, Tibialis anticus, Adductor magnus und Rectus internus aber schreibt er einen aufsteigenden, dem Semimembranosus und Biceps einen absteigenden, dem Sartorius endlich bald keinen, bald einen auf-, bald einen absteigenden Eigenstrom zu; was unseren Schlüssen auf jede Weise zuwiderläuft.

Lässt dagegen Hr. Budge, wozu er sich wohl wird entschliessen müssen, den aufsteigenden Eigenstrom des Gastroknemius fallen, so ist noch die Möglichkeit für ihn da, einen Spannungsunterschied der Enden der einzelnen Bündel zu behaupten. Am Gastroknemius wäre ein solcher, wie gesagt, vom Muskelstrome nicht zu unterscheiden, folglich durch unsere Versuche nicht widerlegt. Alles käme darauf an, wie sich Hrn. Budge's Angaben an den übrigen Muskeln bewähren. In dieser Beziehung steht wenigstens schon fest, dass wenn in den regelmässig gefaserten Muskeln unabhängig von Längs- und Querschnitt Ströme auf- und absteigen, sie neben dem Muskelstrome der Stärke nach nicht in Betracht kommen. Man erinnert sich des oben S. 95. 96 beschriebenen Versuches, worin ein Muskel mit einem senkrechten und einem schrägen Querschnitt aufgelegt fast stets einen Strom im Muskel vom senkrechten zum schrägen Querschnitt zeigt, gleichviel welcher der [668] beiden Querschnitte der obere und welcher der untere ist. Also der blosse Unterschied in der Muskelstromkraft, der durch verschiedene Neigung des Querschnittes bedingt ist, würde die jenen Strömen zu Grunde liegende Kraft fast stets überwiegen.

Da nun die letzteren, falls sie überhaupt vorhanden sind, keine bekannte Bedeutung haben, ja nicht einmal eine Vermuthung darüber vorliegt, so begreife ich nicht, weshalb sie das wichtigere Phänomen sein sollen, wie Hr. Budge durchaus will. Der einzige Grund dafür möchte sein, dass Hr. Budge ihr Entdecker wäre. Ich meinerseits könnte mich um so eher darüber trösten, nur den Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt bemerkt zu haben, als ich bei meinen Versuchen über den Muskelstrom noch nicht die hochempfindlichen Instrumente und die vervollkommneten Versuchsweissen besass, mit denen ich seitdem die Physiologen ausgerüstet habe, und als ich, vor eine Welt neuer Thatsachen gestellt, leicht versucht war, über die grossen Umrisse der Erscheinungen feinere Züge zu übersehen. Ich würde also zu entschuldigen sein, jene angeblichen Ströme nicht bemerkt zu haben, selbst wenn sie existirten. Selbst dann wäre der hoffärtige Tadel, den Hr. Budge gegen

mich richtet, nicht an seinem Platze. Aber wie erscheint dieser Tadel erst, wenn es sich nun findet, dass jene Ströme, deren Nichtbeachtung mir zu so schwerem Vorwurf gereichen soll, nie wo anders kreisten, als in Hrn. Budge's Phantasie?

Im Laufe meiner Untersuchungen, Vorträge, Demonstrationen habe ich natürlich sehr oft regelmässig gefaserte Oberschenkelmuskeln mit symmetrischen Längsschnittspunkten oder mit zwei künstlichen Querschnitten zwischen die Multiplicatorenden gebracht. Bei meinen ersten Versuchen der Art, bei denen ich mich noch wenig empfindlicher Instrumente bediente, sah ich die Nadel auf Null bleiben, wie mir denn auch anfangs die schwachen Ströme des Längsschnittes entgingen.[1] Später war die Regel, dass ein schwacher Ausschlag erfolgte, [669] bald im auf-, bald im absteigenden Sinne. Bei den Versuchen mit zwei künstlichen Querschnitten schrieb ich dies zum Theil dem Umstande zu, dass leicht auf der einen oder der anderen Seite die Kante zwischen Quer- und Längsschnitt sich umlegt und letzterer den Bausch berührt.[2] Bei den Versuchen mit symmetrischen Längsschnittspunkten bemerkte ich, dass nur in seltenen Fällen die gleichartigen Punkte genau symmetrisch zum geometrischen Aequator liegen, so dass der geometrische und der elektromotorische Aequator zusammenfallen. Meist sei letzterer nach der einen oder der anderen Seite verschoben, so dass man, um keine Wirkung zu erhalten, zwei ungleich weit vom geometrischen Aequator gelegene Punkte berühren müsse.[3] Obschon ich somit auf diese Abweichungen ein Auge hatte, fiel mir darin doch kein Gesetz auf, und ich habe auch darüber keine langen Versuchsprotocolle veröffentlicht, weil ich selber ohne dergleichen zur Ueberzeugung gelangt war, dass hier nichts zu holen sei.

Konnte ich aber beim Auflegen zweier Querschnitte keinen regelmässigen Erfolg entdecken, so hatte es auch für mich keinen Sinn, den oberen und unteren Strom unter sich zu vergleichen. Dieser Vergleich kann nur bezwecken, einen Spannungsunterschied der beiden Querschnitte nachzuweisen, indem man den Unterschied zwischen der Spannung eines jeden der Querschnitte und der eines Längsschnittspunktes feststellt, als eines dritten Punktes gleicher Spannung in beiden Versuchen.

---

[1] Vorläufiger Abriss einer Untersuchung über den Froschstrom u. s. w. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 5. §. 15.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 503. — Hr. Budge lässt an der Stelle, wo er sich auf diese Erklärung bezieht, die Worte: „zum Theil" aus, und legt mir so die Behauptung unter, an die ich nie gedacht habe, dass zwei ohne Umlegen der Kante aufgelegte Querschnitte stets völlig gleichartig sein würden. Erste vorläufige Mittheilung, S. 208.

[3] A. a. O. S. 514.

Derselbe Zweck wird viel einfacher und ganz unmittelbar erreicht, indem man die beiden Querschnitte zum Kreise schliesst. Ich hatte also nicht nur keinen Grund, auch noch auf dem Wege jenes Vergleiches mich davon zu überzeugen, dass es keinen regelmässigen Spannungsunterschied der beiden Querschnitte giebt, sondern sogar einen Grund dagegen, nämlich [670] den, dass ich die Schwierigkeiten dieses Unternehmens einsah, von denen Hr. Budge sich nichts träumen lässt. Ganz wie er nichts von dem Einfluss weiss, den die Schräge des Querschnittes auf seine Negativität ausübt, ist ihm auch das Gesetz der Spannweiten fremd geblieben. Er ahnt nicht, dass, beim unverrückten Aufliegen desselben Querschnittes, die blosse Verrückung des Ableitungspunktes am Längsschnitt hinreicht, um eine Veränderung der Stromstärke zu bewirken, die bei Versuchen, gleich den seinigen, die genaueste Berücksichtigung verdient. Ehe wir diese Versuche wiederholen, ist es in der That nöthig, mit den vervollkommneten Hülfsmitteln, über die wir jetzt gebieten, das Gesetz der Spannweiten einer erneuten Prüfung zu unterwerfen.

Ich habe dies Gesetz früher so ausgesprochen, dass mit der Entfernung des Längsschnittspunktes vom abgeleiteten Querschnitt der Strom zuerst wachse, ein Maximum erreiche, wenn jener Punkt sich am Aequator befinde, dann aber wieder herabsinke. Auf verschiedenem Wege führte ich den Beweis, dass es nicht bloss die Stromstärken, sondern auch die Spannungsunterschiede seien, welche dies Gesetz befolgen.[1] Ich fügte hinzu, dass das Herabsinken vom Maximum in manchen Fällen dem Anschein nach etwas weniger steil vor sich gehe, als das Ansteigen, so dass bei grösster Spannweite der Strom stärker sei, als bei kleinster.

Bei dem jetzigen Stand unserer Kenntniss ist leicht zu sehen, dass letzteres Verhalten jedenfalls nur eine Unregelmässigkeit war, dadurch bedingt, dass der nicht abgeleitete Querschnitt geringere Negativität besass, oder dass nach ihm hin die unwirksame Schicht am Längsschnitt dicker wurde. Bei gleicher Negativität der beiden Querschnitte, und überall gleicher Dicke der unwirksamen Schicht am Längsschnitt, wie auch der an den Querschnitten, muss das Herabsinken des Spannungsunterschiedes vom Maximum mit derselben Steilheit geschehen, wie das Ansteigen: die Curve der Spannungsunterschiede bezogen auf die Spannweiten muss symmetrisch sein. [671] Die Curve der Stromstärken bezogen auf die Spannweite wird dagegen asymmetrisch ausfallen, sobald der Widerstand des Muskels nicht gegen den des Kreises verschwindet. Allein die Abweichung dieser Curve von der Symmetrie wird gerade im entgegengesetzten Sinne von dem stattfinden, in welchem ich sie früher

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 631—633. 695. 696.

zufällig gesehen hatte. Je grösser der Widerstand des Muskels ist, um so mehr wird die Stromstärke bei kleinster die bei grösster Spannweite übertreffen, und um so näher wird das Maximum dem abgeleiteten Querschnitt rücken.

Bei meinen neueren Versuchen verfuhr ich so, dass, während der eine Querschnitt dem Thonschild eines Zuleitungsgefässes anlag, die Thonspitze einer Zuleitungsröhre folgweise den verschiedenen Punkten des Längsschnittes aufgesetzt wurde. Das Ergebniss dieser Versuche stellt Fig. 21. Taf. II graphisch dar. Die Abscissenaxe $q'q_,$ bedeutet den Längsschnitt zwischen den beiden künstlichen Querschnitten. Die Ordinaten der ausgezogenen Curve sind die Stromstärken bei Ableitung des Stromes vom Querschnitt $q'$, die der gestrichelten Curve die bei Ableitung vom Querschnitt $q_,$.

Man sieht, dass die Curven in doppelter Beziehung von dem Verlauf abweichen, den ich ihnen früher zuschrieb, und zwar in dem Sinne, wie dies so eben als nothwendig erkannt wurde. Erstens liegt das Maximum merklich näher dem abgeleiteten, als dem freien Querschnitt. Zweitens ist die Stromstärke bei grösster Spannweite merklich geringer als bei kleinster. Im Einklang mit der Theorie ist dieser Verlauf der Curven um so ausgesprochener, je länger und dünner die Muskeln; am deutlichsten am Rectus internus, auch noch deutlich am Sartorius, nur noch schwer zu erkennen am Adductor magnus, dessen ich mich bei meinen früheren Versuchen vorzugsweise bediente. Hier nähern sich die Curven der Congruenz, indem der Verlauf einer jeden symmetrischer wird, und hier kann es sich am leichtesten ereignen, dass der Einfluss des Widerstandes durch den anderer Umstände übertroffen wird, so dass die grösste Spannweite eine grössere Stromstärke liefert als die kleinste.

Entwirft man, statt an der Bussole die Curven der Strom- [672] stärken, am Compensator die der Spannungsunterschiede bezogen auf die Spannweite, so zeigen letztere auch an Muskeln von grossem Widerstande einen symmetrischen Verlauf. Am Rectus internus kann der Spannungsunterschied bei grosser Spannweite grösser als bei kleiner sein, während die Stromstärke sich umgekehrt verhält.

Die von der Spannweite abhängigen Schwankungen der Stromstärke können bei dünnen Muskeln über die Hälfte des Maximums betragen; wie ansehnlich auch die der elektromotorischen Kraft sind, sieht man in Tab. III. an den durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Gastroknemien vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht.

Es geht daraus hervor, dass man, um den oberen und unteren Strom unter sich zu vergleichen, wie Hr. Budge beabsichtigte, nicht blindlings verfahren darf, sondern bestimmte Regeln befolgen muss, will

man nicht zu ganz falschen Ergebnissen gelangen. Das Beste wird sein, überhaupt von den Stromstärken abzusehen, und nur die elektromotorischen Kräfte zwischen den beiden Querschnitten einerseits, andererseits einem bestimmten Längsschnittspunkte zu messen. Verschwindet indess der Widerstand des Muskels gegen den des Kreises, so kann man ebenso mit den Stromstärken verfahren. Kommt jener Widerstand neben dem des Kreises in Betracht, und ist der Muskel überall gleich dick, so muss man in beiden Versuchen einen Längsschnittspunkt von gleicher Spannung, und in gleicher Entfernung vom abgeleiteten Querschnitt gelegen, mit diesem zum Kreise schliessen. Je zwei symmetrische Längsschnittspunkte genügen dieser Bedingung, am einfachsten der Aequator. Ist aber der Muskel nicht überall gleich dick, so ist die Frage nach der verschiedenen Negativität der beiden Querschnitte durch den Vergleich des oberen und unteren Stromes gar nicht zu entscheiden, es sei denn, dass man, bei demselben Verfahren wie am überall gleich dicken Muskel, von dem dickeren Abschnitt einen schwächeren Strom erhielte, als von dem dünneren.

Jetzt wollen wir zur thatsächlichen Prüfung der Budge'schen Behauptungen schreiten. Sie laufen, wie gesagt, dar- [673] auf hinaus, dass im Muskel, wie in einer voltaischen Säule, ein elektrischer Gegensatz so vertheilt sei, dass jeder höhere Querschnitt z. B. sich positiv verhält gegen jeden tieferen. Ausserdem erkennt Hr. Budge im Muskel nur noch den Gegensatz von Längsschnitt und künstlichem Querschnitt an; er leugnet die Bedeutung der sehnigen Enden als natürlicher Querschnitte, mithin deren Gleichartigkeit und Negativität gegen den Längsschnitt. Danach dürfen am unversehrten Muskel keine anderen Wirkungen stattfinden, als die des angeblichen Gegensatzes seiner Enden, und man muss also nach Hrn. Budge 1. zwischen diesen Enden stets den Strom in derselben, durch jenen Gegensatz gebotenen Richtung finden, in unserem Beispiel also aufsteigend. Eben so muss man 2. zwischen zwei beliebigen Längsschnittspunkten, und 3. zwischen einem solchen Punkt und den beiden sehnigen Enden einen Strom in der nämlichen Richtung finden. 4. Liegt der Muskel mit zwei künstlichen Querschnitten auf, so muss der Erfolg derselbe sein. 5. Liegt der durch zwei künstliche Querschnitte begrenzte Muskel mit zwei beliebigen Längsschnittspunkten auf, so muss auch noch stets ein Strom in derselben Richtung erscheinen, der sich bei asymmetrischer Lage der Punkte zum schwachen Strome des Längsschnittes algebraisch hinzufügt. Endlich 6. muss ebenso der Muskelstrom vom Längs- zum Querschnitt selber, bei Berücksichtigung des Gesetzes der Spannweiten, stärker erscheinen, wenn er mit dem angeblichen Eigenstrom gleiche, als wenn er die um-

gekehrte Richtung hat, in unserem Beispiel also bei Ableitung vom unteren Querschnitt, wo er aufsteigt, stärker als bei Ableitung vom oberen, wo er absteigt. In allen diesen Fällen muss die Kraft des Eigenstromes um so grösser sein, je grösser der Abstand der Ableitungspunkte.

Dies ist die Reihe von Versuchen, die Hr. Budge zum Erweise seiner Lehre an regelmässig gefaserten Muskeln hätte durchmachen müssen. Statt dessen hat er, wie wir sahen, nur die unter 6. erwähnte Prüfung, und zwar ohne Berücksichtigung der Spannweite angestellt, und sonst nur obenhin erwähnt, dass die Muskeln mit symmetrischen Längs- [674] schnittspunkten im Sinne des Unterschiedes zwischen oberem und unterem Strome gewirkt hätten.

Wir wollen jetzt etwas gründlicher verfahren. Die Ergebnisse meiner Versuche an regelmässig gefaserten Muskeln sind am Schluss in den Tab. IV.—X. enthalten. Jede dieser Tabellen, bis auf die achte, stellt eine Versuchsreihe an den Recti interni, Sartorii, Adductores magni und Semimembranosi von fünf Fröschen vor. In Tab. X., welche zum Theil schon besprochen wurde, erstrecken sich die Messungen auch noch über den Triceps und den Gastroknemius derselben Thiere. So ist jede Willkür in der Auswahl der Fälle ausgeschlossen. Nur wo dem Semimembranosus das obere sehnige Ende erhalten bleiben musste, ist der Versuch zuweilen nur am Muskel der einen Seite angestellt, oder es ist ein Muskel von einem anderen Frosch zu Hülfe genommen, weil es nicht immer gelingt, die Semimembranosi desselben Frosches so von einander zu trennen, dass beide unversehrt sind.

Die Vorzeichen in den Tabellen und die Zahlen in Tab. X. haben die frühere Bedeutung. In den anderen Tabellen sind die Zahlen den Stromstärken proportionale Ablenkungen in Scalentheilen, abgelesen an der Wiedemann'schen Bussole mit 12000 Windungen, bei $0^{mm}$ Abstand der Rollen und $2300^{mm}$ Abstand der Scale vom Spiegel, aber ohne Haüy'sche Compensation.

Jede Zahl ist das Ergebniss einer einzigen Ablesung, welche vorgenommen wurde, nachdem die Bedingungen des Versuches möglichst rein hergestellt waren (s. oben S. 83). Verfährt man so mehrmals nach einander am nämlichen Muskel, so erhält man gleichwohl, namentlich wo der künstliche Querschnitt in's Spiel kommt, nicht zweimal dieselbe Zahl, sondern oft ansehnlich verschiedene Werthe; wo nach dem Gesetz keine Wirkung stattfinden sollte, auch wohl von verschiedenem Zeichen.[1] Man müsste also eigentlich aus einer hinreichenden Anzahl solcher Bestimmungen das Mittel ziehen. Dies hätte zuviel Zeit gekostet in Ver-

[1] [Ueber die Gründe dieser Schwankungen vergl. unten Abh. XX. §. IV.]

suchsreihen, wo, wie in Tab. IV., schon an jedem Muskel 12, mithin an jedem Frosch 96 Versuche anzustellen waren. Unsere Zahlen sind sonach mit jenen Schwankungen [675] behaftet. Man darf indess annehmen, dass deren Einfluss sich auch bei hinlänglicher Vervielfältigung einzelner Versuche an verschiedenen Muskeln ausgleiche, wie die Tabellen sie darbieten, wobei zugleich die etwaigen Unterschiede im Verhalten der einzelnen Muskeln sich aufheben: da kein Grund ist, weshalb alle Muskeln, bei einer einzigen Prüfung, eine im nämlichen Sinne vom Mittel abweichende Zahl liefern sollten.

Um uns kurz zu verständigen, nennen wir den mit natürlichem Querschnitt gewonnenen Strom den natürlichen, den mit künstlichem Querschnitt den künstlichen Strom. Der obere natürliche Strom ist also z. B. der zwischen oberem sehnigen Ende, der untere künstliche Strom der zwischen unterem künstlichen Querschnitt einerseits, andererseits dem Längsschnitt kreisende Strom. Vor einer Verwechselung des so gebrauchten Ausdruckes 'natürlicher Strom' mit demselben Ausdruck in Hrn. Budge's Sinne braucht wohl kaum gewarnt zu werden. Hrn. Budge's angeblichen 'natürlichen' Strom, der ohne Bezug auf Längs- und Querschnitt sein soll, nennen wir, was sein ursprünglicher Name ist, ja vielmehr Eigenstrom.

Tab. IV. stellt eine Versuchsreihe dar, wobei an jedem Muskel die sechs oben aufgezählten Folgerungen aus Hrn. Budge's Lehre zur Prüfung kamen. Sie zerfällt der Länge nach in zwei Abtheilungen. Die erste Abtheilung bezieht sich auf den ganz unversehrten Muskel. Gewisse weitere, den Muskel in diesem Zustande betreffende Fragen sind in Tab. V. beantwortet. Die zweite Abtheilung von Tab. IV. bezieht sich auf den durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskel. Weiter erläutert findet sich dessen Verhalten in den Tab. VI.—X.

I. Erstens also sollte sich, nach Hrn. Budge, an jedem Muskel zwischen seinen sehnigen Enden ein Strom in beständiger Richtung zeigen. An sich wäre hiergegen, vom Standpunkt unseres Gesetzes, nichts einzuwenden. Ein solches Verhalten würde zu seiner Erklärung nur eine beständige Gestaltverschiedenheit beider Enden voraussetzen, wodurch die Ableitung von elektromotorisch nicht entsprechenden Punkten geschähe. Ich selber [676] habe früher, auf Grund meiner ersten, noch minder vollkommenen und zahlreichen Versuche, jenes Verhalten angenommen.[1] In Uebereinstimmung mit meinen späteren Angaben[2] lehrt aber jetzt die erste Spalte der IV., V.

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 3. 10. §. 9. 26. 27.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 497.

und VI. Tabelle, dass dies unter den vier in Rede stehenden Muskeln allein am Semimembranosus, allenfalls dem Sartorius, mit einiger Sicherheit nachweisbar ist. Auf 26 Mal wirkte zwischen sehnigen Enden der Semimembranosus 24, auf 30 Mal der Sartorius 24, der Rectus internus 18 Mal absteigend, der Adductor magnus 17 Mal aufsteigend. Oft wirkt von den gleichnamigen Muskeln desselben Frosches der eine auf-, der andere absteigend. Spricht sich schon hierin keine durchgreifende Gesetzlichkeit aus, so vermisst man eine solche erst recht, wenn man die Grösse der Wirkungen in Betracht zieht. Nicht bloss schwankt diese zwischen weiten Grenzen, sondern sie tritt auch meist bedeutend zurück gegen die der Ablenkungen, welche man mit natürlichem Strome vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht, noch mehr gegen die, welche man damit nach Zerstörung der Schicht, oder mit künstlichem Strom erhält.

Eine solche Unregelmässigkeit und Schwäche der Wirkungen ist unverträglich mit der Bedeutung, die Hr. Budge ihnen beilegt. Uns erwächst daraus keine Verlegenheit, selbst wenn wir bei obiger Erklärung jener Wirkungen stehen bleiben. Denn da eine geringe Verrückung der Ableitungspunkte danach hinreicht, die Stromrichtung umzukehren, so wird die Unbeständigkeit der Ströme fast zur nothwendigen Folge.[1] Wir können aber jetzt, zur Deutung derselben Ströme, auch noch an verschiedene Parelektronomie der beiden Muskelenden denken, wobei vollends keine Beständigkeit zu erwarten wäre; und der Versuch wird diese Vermuthung bestätigen.

II. Zweitens sollte, nach Hrn. Budge, an jedem Muskel der [677] Strom zwischen beliebigen Längsschnittspunkten dieselbe Richtung zeigen, wie zwischen sehnigen Enden. Die zweite Spalte der IV. und V. Tabelle enthält die Ablenkungen beim Aufliegen zweier symmetrischen Längsschnittspunkte, die vom Aequator um ein Viertel der Muskellänge abstanden. Auf 20 Mal haben sie am Rectus internus 6, am Sartorius 9, am Adductor magnus 6, am Semimembranosus 11 Mal, auf 80 Mal also im Ganzen nur 32 Mal die umgekehrte Richtung von der zwischen sehnigen Enden. Hier scheint also, was die Richtung der Ströme betrifft, etwas der Budge'schen Anschauung Entsprechendes beim ersten Blick wirklich stattzufinden. Was die Stärke betrifft, so sind die Ablenkungen bald kleiner, bald, was sie nach Hrn. Budge nicht sollten, in dem Maasse grösser als die zwischen sehnigen Enden, dass dies nicht bloss dem geringeren Widerstande zu-

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 506 ff.

zuschreiben ist. Auch im letzteren Falle bleiben sie übrigens meist weit unter den mit Querschnitt erhaltenen Wirkungen.

In der dritten Spalte derselben Tabellen entspricht jedem Muskel eine obere und eine untere Zahl. Jene wurde abgelesen, als bei unveränderter Spannweite der obere Ableitungspunkt dem oberen, diese, als der untere dem unteren Ende möglichst genähert war. Nach Hrn. Budge sollten beide Zahlen stets gleiches Vorzeichen mit der Zahl der ersten und zweiten Spalte haben, und dies Zeichen für jeden Muskel stets das nämliche sein. Hrn. Budge's Voraussetzung findet sich nur am Rectus internus öfter, nämlich 13 Mal auf 20, insofern erfüllt, als die vier Zahlen dasselbe Vorzeichen haben; doch ist dies 7 Mal das positive, 6 Mal das negative. Am Sartorius kommt dasselbe Verhalten nur 5, am Semimembranosus 3, am Adductor magnus 2 Mal auf 20, auf 80 Mal also im Ganzen nur 23 Mal vor.

Nach dem Gesetz des Muskelstromes sollte die obere Zahl in der dritten Spalte stets negativ, die untere stets positiv sein. Am Adductor magnus, und ebenso am Semimembranosus, trifft dies 17 auf 20 Mal, also sehr regelmässig, zu. Minder günstig ist der Erfolg am Rectus internus, wo [678] nur 3, und am Sartorius, wo nur 9 Mal die Vertheilung der Zeichen die erwartete ist; sie ist es auf 80 Mal im Ganzen nur 46 Mal. Man wird aber sehen, dass hieraus so wenig etwas wider das Gesetz des Muskelstromes folgt, als aus dem zuerst erwähnten, scheinbar Hrn. Budge günstigen Zusammentreffen etwas für dessen Lehre.

III. Drittens sollte, nach Hrn. Budge, zwischen einem beliebigen Längsschnittspunkt und den beiden sehnigen Enden ein Strom auch noch immer in der nämlichen Richtung erfolgen, wie zwischen den sehnigen Enden, symmetrischen und asymmetrischen Längsschnittspunkten. Mit anderen Worten, der obere und untere natürliche Strom sollen unter sich und mit den Strömen zwischen diesen Punkten einerlei Richtung haben. Dieser Satz leugnet unmittelbar die Negativität der sehnigen Enden gegen den Längsschnitt, und ihr Verhalten als natürliche Querschnitte. Was daran ist, zeigt die vierte Spalte der IV. und V. Tabelle, in der die obere Zahl jetzt die mit dem oberen, die untere die mit dem unteren natürlichen Strom erhaltene Ablenkung ist. Der Längsschnittspunkt war der Aequator. Nach dem Gesetz muss die obere Zahl wieder negativ, die untere positiv sein. Auf 20 Mal zeigen sich hiervon am Adductor magnus keine einzige, am Semimembranosus 2, am Rectus internus 5, am Sartorius 8, auf 80 Mal also im Ganzen nur 15 Ausnahmen. Dem Gesetz nach sollen die Ablenkungen jetzt grösser sein, als da statt des natürlichen Querschnittes ein diesem naher Längsschnitts-

punkt auflag. Betrachtet man, wie man darf, das Abnehmen einer negativen Wirkung als gleichwerthig mit dem Wachsen einer positiven, so bieten unsere Tabellen von diesem Satz auf 20 Versuche am Adductor magnus keine einzige, am Rectus internus 4, am Sartorius 6, am Semimembranosus 9, auf 80 Mal also im Ganzen 19 Ausnahmen. An den beiden letzteren Muskeln betreffen diese Ausnahmen fast alle das untere Ende, und erklären sich leicht aus dessen abweichendem Bau. Ein dem unteren Ende naher Punkt ist hier kein reiner Längsschnitt, und ebenso wenig ist das Ende selber der [679] natürliche Querschnitt sämmtlicher Bündel. Der bandförmige Sartorius ist unten durch seinen natürlichen Querschnitt schräg abgeschnitten, so dass an seinem äusseren Rande seine Fasern fast um ein Drittel länger sind, als an seinem inneren. Der Semimembranosus setzt in einem grossen Theile seiner Länge von unten nach oben neue Fleischbündel an, die von beiden Seiten eines an seinem äusseren Umfange emporsteigenden Sehnenstreifes entspringen. Er ist also im Grunde ein doppeltgefiederter Muskel, nur dass die in ungleicher Höhe entsprungenen Bündel sämmtlich bis zu seinem oberen Ende reichen, daher er oben viel dicker ist als unten. Es würde uns an dieser Stelle zu weit führen, die Folgen zu erörtern und in der Wirklichkeit nachzuweisen, welche nach der Theorie der Neigungsströme diese Anordnungen am unteren Ende des Sartorius und Semimembranosus haben müssten. Hier genügt die Einsicht, dass jedenfalls an diesem Ende, im Vergleich mit einem regelmässig gebauten, der Spannungsunterschied zwischen dem Aequator und einem dem Ende nahen Punkte nur wenig wachsen kann, wenn letzterer mit dem Ende selber vertauscht wird. Da aber der Sartorius mit seiner unteren spitzen Sehne, der Semimembranosus mit seinem knorpeligen Hufeisen aufgelegt ansehnlich grösseren Widerstand haben, als mit einem dem unteren Ende nahen Punkt, so versteht man, wie zuweilen, statt Verstärkung, Schwächung des Stromes die Folge dieser Veränderung ist.

Dass nach dem Allen von Hrn. Budge's Deutung der Ströme am unversehrten Muskel die Rede nicht sein könne, ist klar. Es fragt sich aber, wie sich von unserem Standpunkte jene 15 Fälle auf 80 rechtfertigen lassen, in denen der untere natürliche Strom nicht auf-, oder der obere nicht absteigt, so wie die auch nicht ganz seltenen, wo der eine dieser Ströme Null ist.

Zuerst ist ein Bezug aufzudecken, der sich zwischen den Zahlen der ersten und denen der vierten Spalte kundgiebt. Die beiden Zahlen der vierten Spalte, die gleich und entgegengesetzt sein sollten, sind stets mehr oder weniger un- [680] gleich; häufig mehr und in einem anderen Sinne, als es, bei gleicher Negativität der beiden natürlichen Querschnitte,

wegen verschiedenen Widerstandes der oberen und unteren Muskelhälfte der Fall sein könnte. Die Zahl der ersten Spalte aber hat fast ausnahmslos, 76 Mal auf 80, dasselbe Vorzeichen, wie die grössere jener beiden Zahlen. Die beiden natürlichen Querschnitte sind also sichtlich verschieden negativ gegen den Längsschnitt, und demgemäss ist auch der minder negative positiv gegen den negativeren. Es ist denn auch nicht etwa stets das nämliche Ende des Muskels das negativere, sondern die Fälle, wo das obere und die, wo das untere vorwiegt, sind fast genau ebenso vertheilt, wie die Vorzeichen in der ersten Spalte (s. oben S. 158).

Man könnte diese Erscheinung einfach auf eine Gestaltverschiedenheit der beiden Enden deuten. Es kann aber auch, wie schon bemerkt, jetzt an verschiedene Parelektronomie dieser Enden gedacht werden. Diese Meinung lässt sich dadurch prüfen, dass man die Muskeln einem entwickelnden Bade unterwirft. Setzt man gleiche Gestalt der beiden Querschnitte voraus, so nähert sich durch die Zerstörung der parelektronomischen Schicht die Negativität der beiden Querschnitte derselben Grenze, nämlich der Negativität eines gleich schrägen künstlichen Querschnittes. Es muss also der minder negative Querschnitt dabei mehr an Negativität zunehmen, als der von Hause aus negativere.

Um dies zu erproben, tauchte ich die Muskeln, welche zu den Versuchen in den vier ersten Spalten der fünften Tabelle gedient hatten, 5″ lang in gesättigte Kochsalzlösung, spülte sie mit Wasser ab, und trocknete sie zwischen Fliesspapier. Die 5. Spalte der Tabelle zeigt die durch den oberen und unteren natürlichen Strom nach dem Bade erhaltenen Wirkungen, die 6. den Unterschied zwischen den zusammengehörigen Zahlen der 4. und 5. Spalte, d. h. die durch das Bad bewirkte Veränderung.

Bei Betrachtung dieser Zahlen kann es auffallen, dass die Folge des Bades nicht stets Verstärkung des natürlichen Stromes der beiden Enden ist. Auf 10 Mal 3 Mal am Rec- [681] tus internus, 4 Mal am Sartorius, 1 Mal am Adductor magnus, 4 Mal am Semimembranosus, im Ganzen 12 Mal auf 40, wurde der Strom des einen Endes geschwächt, statt verstärkt. Um dies zu verstehen, muss man sich erinnern, dass auf die entwickelnde Wirkung, welche die Aetzmittel durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht ausüben, eine schwächende Wirkung folgt. Die Negativität des natürlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt steigt unter dem Einfluss der Kochsalzlösung schnell an, erreicht ein Maximum, und sinkt dann ziemlich rasch wieder herab; wenn vor der Benetzung nur geringe Parelektronomie bestand, leicht bis zu einem Werth unterhalb der ursprünglichen Negativität. Es ist daher etwas ganz anderes, ob man den Sehnenspiegel eines im Kreise befindlichen

Muskels mit Kochsalzlösung benetzt, oder ob man so verfährt, wie es hier geboten war. Dort kann sich, bei richtiger Leitung des Versuches, die vorübergehende Stromverstärkung der Beobachtung kaum entziehen. Hier dagegen war das Maximum der Stromstärke schon vorüber, ehe der Muskel zur Prüfung gelangte, und bei geringerer Parelektronomie des betreffenden Muskelendes wurde die Stromstärke um so leichter bereits unter ihrem ursprünglichen Werth angetroffen, als die von der Lösung durchdrungene Schicht am Längsschnitt eine schwächende Nebenschliessung bildet. Zu dieser Zeit aber kann der Strom eines ursprünglich stark parelektronomischen Muskelendes noch bedeutend verstärkt sein. Diese Erklärung setzt, wie man sieht, voraus, dass Schwächung durch das Kochsalzbad ausschliesslich oder vorzugsweise am ursprünglich negativeren Ende vorkomme; und wirklich trifft dies unter jenen 12 Malen 9 Mal zu. Die Fälle dieser Art bestätigen also vielmehr schon unsere Vorhersage, insofern als die Abnahme des Stromes durch das Bad einer geringeren Zunahme gleichzusetzen ist.

Danach zeigt sich auf 10 Mal am Rectus internus 8, am Sartorius 10, am Adductor magnus 8 Mal, auf 30 Mal also im Ganzen 26 Mal das erwartete Verhalten, eine Regelmässigkeit, wie sie gewiss nicht grösser zu verlangen ist, [682] wo zarte Muskeln einem so heftigen Eingriff preisgegeben werden.

Es beruht daher wohl auf besonderen Umständen, dass am Semimembranosus nur 4 Mal auf 10 unsere Regel sich bewährt. Hier ist auf 20 Mal der untere natürliche Strom 16 Mal der schwächere. Zum Theil rührt dies vom grösseren Widerstande des unteren Endes her. Da aber der oben S. 161. 162 gegebenen Regel gemäss der Muskel zwischen sehnigen Enden fast stets absteigend wirkt, so ist das untere Ende wirklich meist das positivere, und bleibt es auch nach dem entwickelnden Bade. Dies hat seinen Grund unstreitig in dem oben S. 161 besprochenen Bau des unteren Endes, der entfernt an den des oberen Endes am Gastroknemius erinnert. Entweder ist am Semimembranosus das untere Ende bei gleicher Parelektronomie wegen seines verschiedenen Baues minder negativ als das obere; oder es ist für gewöhnlich parelektronomischer, und der Entwickelung weniger zugänglich: wie es denn sinnlos wäre, zu erwarten, dass ein Kochsalzbad das obere Ende des Gastroknemius negativer mache.

Ist unsere Auffassung die richtige, so muss man nach dem Bade von den mit den beiden sehnigen Enden aufgelegten Muskeln Wirkungen erhalten, die sich ebenso aus der veränderten Negativität jener Enden herleiten lassen, wie die Wirkungen vor dem Bade aus der ursprünglichen Negativität der Enden. Das Ergebniss dieser Versuche findet sich in der 7. Spalte der Tabelle. Es fällt auf 10 Mal am Rectus internus

9, am Sartorius 8, am Adductor magnus 4, am Semimembranosus 8 Mal, im Ganzen auf 40 Mal 29 Mal, unseren Schlüssen günstig aus. Mit der Abnahme des Unterschiedes zwischen oberem und unterem Strome nimmt auch der Strom zwischen den sehnigen Enden ab, mit der Umkehr seines Zeichens kehrt er sich um, u. s. w.

Wir dürfen es also als ausgemacht ansehen, dass eine wesentliche Ursache des Stromes zwischen sehnigen Enden, und des Unterschiedes zwischen oberem und unterem natürlichen Strom, soweit dieser Unterschied nicht vom Wider- [683] stande herrührt, in der verschiedenen Parelektronomie der beiden Enden zu suchen ist.

Dies sind beiläufig die Erfahrungen, auf die oben S. 136 hingewiesen wurde, um die verschiedene Parelektronomie der beiden Enden der Gastroknemiusbündel annehmbar zu machen.

In den Strömen zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten darf man jetzt eine Componente vermuthen, welche, als ein Zweig des in der geschwächten oder unwirksamen Schicht kreisenden Stromes, von dem positiveren Ende durch den Bogen nach dem negativeren fliesst. Sind beide Enden ungleich parelektronomisch, so ist das von Hrn. Budge behauptete Verhalten, anstatt gegen das Gesetz zu streiten, vielmehr ganz in der Ordnung. In den 48 Fällen auf 80, in welchen der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten mit dem zwischen sehnigen Enden gleiche Richtung zeigte (s. oben S. 159), können wir eine Andeutung dieses gesetzmässigen Verhaltens sehen.

Umstände, welche es oft verdecken, lassen sich mindestens zwei denken. Verjüngt sich bei gleicher Negativität der Querschnitte die unwirksame Schicht am Umfange des Muskels vom Ende $A$ nach dem $B$ hin, so muss in einem, symmetrischen Längsschnittspunkten angelegten Bogen ein Strom von $B$ nach $A$ kreisen. Aehnliches kann hier stattfinden, da dann dieser Strom sich mit dem Strome wegen ungleicher Negativität der beiden Querschnitte algebraisch summirt. Zweitens wäre es wohl wunderbar, wenn alle Querscheiben des Muskels, und alle Elemente einer Querscheibe, gleich stark elektromotorisch wirkten.[1] Giebt es aber hierin Unterschiede, so ist ein zureichender Grund für die mannigfaltigsten Störungen vorhanden; gerade wie dergleichen an einem Magnetstabe durch ungleiche Coërcitivkraft des Stahles oder durch Fehler beim Streichen entstehen.

---

[1] [Nach der Jahreszahl dieser Abhandlung versteht sich von selber, dass das Wort „Querscheibe" hier und S. 168 geometrisch, nicht histologisch genommen ist, d. h. nicht um damit, wie Hr. Hensen seitdem that, einen der in der Länge des Muskelbündels aneinander stossenden Bestandtheile der contractilen Substanz zu bezeichnen (Arbeiten aus dem Kieler physiolog. Institut 1868. S. 9; — Vergl. oben S. 42).]

Aus demselben Gesichtspunkte sind vorläufig die Fälle zu beurtheilen, wo zwischen einem dem Aequator und einem dem sehnigen Ende benachbarten Punkte der Strom die falsche Richtung zeigt, während er mit dem Ende selber im [684] richtigen Sinne erscheint. Fremdartiger und, wie schon bemerkt, unserer ganzen Aufmerksamkeit werth sind die Fälle, wo zwischen dem Längsschnitt und dem sehnigen Ende selber der natürliche Strom verkehrt ist, d. h. wo sich letzteres gegen ersteren positiv verhält.

Ich habe, ausser den in der Tabelle verzeichneten Beispielen, noch viele andere von demselben Verhalten beobachtet. Meist betrafen sie, wie die in der Tabelle, das untere Ende des Rectus internus und des Sartorius. Doch habe ich auch das obere Ende gesetzwidrig elektromotorisch gefunden; ja es kommt vor, dass beide Enden positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt sind. Sartorius III. *A.* in Tab. IV. bietet ein Beispiel hiervon; ein anderes ist folgendes: Zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten gab ein Sartorius + 5, zwischen einem dem Aequator und einem dem oberen Ende benachbarten Punkte + 40, zwischen dem Aequator und einem dem unteren Ende benachbarten — 13 $^{sc}$ Ablenkung. Das obere Ende selber mit dem Längsschnitt zusammen gab + 19, das untere — 15 $^{sc}$. In diesen, allerdings sehr seltenen Fällen ist also eine völlige Umkehr des gesetzlichen Verhaltens des unversehrten Muskels eingetreten.

Das Dasein solcher Fälle macht es an sich schon wahrscheinlich, dass, wenn das ungesetzliche Verhalten auf das eine Ende beschränkt bleibt, dies nicht daher rührt, dass ein der Muskelaxe entlang fliessender Eigenstrom den natürlichen Muskelstrom überwiegt, sondern einfach daher, dass das betreffende Ende so stark parelektronomisch ist, dass es sich positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt verhält. Dies wird dadurch bestätigt, dass mit seltenen Ausnahmen ein entwickelndes Bad hinreicht, um beiden Enden im Nu das gesetzmässige Verhalten zu ertheilen. Die Tab. V. zeigt dies für den Fall nur eines positiven Endes. In dem eben angeführten Fall am Sartorius, wo beide Enden positiv waren, erhielt ich nach dem Bade mit dem oberen Ende — 79, mit dem unteren + 114 $^{sc}$.

Wir sind so zu einer an sich werthvollen Erweiterung unserer Kenntniss des parelektronomischen Zustandes gelangt. [685] Eine solche Parelektronomie, dass das gesetzmässige Verhalten des natürlichen Querschnittes dabei umgekehrt wird, war mir am Gastroknemius, an dem ich die Parelektronomie bisher vorzüglich studirt hatte, nur nach Einwirkung

höherer Kältegrade vorgekommen.[1] Jetzt zeigt es sich, dass auch ohne nachweisbare Ursache, insbesondere ohne Kälte — obige Versuche wurden im August angestellt — an einem oder auch an beiden Enden des Muskels zuweilen jener merkwürdige Zustand angetroffen wird.

Es haben sich bei dieser Gelegenheit noch mehrere Umstände ergeben, die auf die Beschaffenheit des natürlichen Querschnittes weiteres Licht zu werfen versprechen. Es kommt zuweilen, wenn gleich äusserst selten, vor, dass das oberflächliche Anätzen des natürlichen Querschnittes durch eine entwickelnde Flüssigkeit dem Querschnitt seine gesetzmässige Negativität nicht ertheilt. Erst das Messer legt einen gegen den Längsschnitt stark negativen Querschnitt bloss. Ein einziges Mal habe ich aber auch gesehen, dass ein dem oberen sehnigen Ende des Rectus internus sehr nahe angelegter Schnitt sich schwach positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt verhielt. Sehr regelmässig findet man hingegen, wenn man die sehnigen Enden dieses Muskels oder des Sartorius in dünnen Scheiben abträgt, und jedesmal die Negativität des Querschnittes gegen den Längsschnitt prüft, dass diese Negativität zuerst ansehnlich kleiner ausfällt, als nachdem man ein Stück von mehreren Millimetern Länge entfernt hat. Ein Querschnitt aus der mittleren Gegend der Muskeln ist fast stets negativ gegen einen Querschnitt in unmittelbarer Nähe eines sehnigen Endes. An den dickeren Muskeln, dem Adductor magnus und Semimembranosus, fand ich nur eine Andeutung desselben Verhaltens. Man kann aber hier nicht, wie an den dünneren Muskeln, einen Schnitt führen, der sämmtliche Bündel in gleichem und möglichst kleinem Abstand von ihrem Ende trifft.

[686] In meinen 'Untersuchungen' habe ich gezeigt, wie sich sämmtliche Erscheinungen der Parelektronomie durch die Annahme erklären, dass auf einen Theil der Längsreihen peripolarer Gruppen, woraus der Muskel besteht, eine ihren positiven Pol in's Freie kehrende dipolare Molekel aufgesetzt ist.[2] Diese Annahme haben wir, um sie den Neigungsströmen anzupassen, oben S. 130 dahin abgeändert, dass ein Theil der die Grenzschicht bildenden dipolaren Molekeln um 180° gedreht sei. Der Sinn hiervon ist aber natürlich nur,[3] dass schon eine solche Annahme h i n r e i c h t, um die Parelektronomie zu verstehen. Indem sie zeigt, wie eine Schicht von verschwindender Dicke der ganzen übrigen Muskelmasse elektromotorisch das Gleichgewicht hält, ja sie überwiegt,

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1851. S. 392; — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 38. — [Vergl. unten Abh. XXIV. §. VIII. IX., wo auseinander gesetzt wird, weshalb Stromumkehr am Gastroknemius überhaupt einer doppelten Deutung fähig ist.]

[2] A. a. O. S. 89. 90; — Monatsberichte u. s. w. A. a. O. S. 393. 394.

[3] Untersuchungen u. s. w. A. a. O. S. 91.

macht sie begreiflich, wie der oberflächlichste Angriff dem natürlichen Querschnitt die ihm zukommende Negativität ertheilt. Deshalb ist aber die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die veränderte Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile, auf der die Parelektronomie beruht, sich, elektromotorisch mit dem gleichen Erfolg, über eine Strecke des Muskels von merklicher Länge ausdehne. Dies scheint nun bei den sehnigen Enden der langen und dünnen Oberschenkelmuskeln, des Rectus internus und Sartorius, wirklich der Fall zu sein. Die Parelektronomie dieser Enden ist nicht, gleich der des Achillesspiegels, einer Schicht von unfassbarer Dicke zuzuschreiben, sondern einer Strecke von oft mehreren Millimetern Länge. Erst nachdem diese abgetragen ist, zeigt der Querschnitt seine volle Negativität.

Die einfachste Annahme hinsichtlich der Anordnung der elektromotorischen Bestandtheile in der parelektronomischen Strecke, wie es jetzt heissen muss, ist, dass darin lose dipolare Molekeln, den positiven Pol dem nahen Ende des Muskels zugekehrt, liegen. Ist diese Annahme richtig, so muss in dem Falle, wo nach Abschneiden des sehnigen Endes der künstliche Querschnitt des Muskels sich positiv ge- [687] gen den Längsschnitt verhält, der künstliche Querschnitt des abgeschnittenen Endes sich negativ gegen den Längsschnitt und den natürlichen Querschnitt verhalten. Leider ist in dem einzigen Falle der Art, der mir begegnete, die Untersuchung hierauf missglückt, weil das abgeschnittene Ende zu kurz und keine Zuleitungsröhre mit Thonspitze in Bereitschaft war. Seitdem habe ich Hunderte von Sartorii und Recti interni, auch von erkälteten, ja von erfrorenen Fröschen, vergeblich darauf geprüft, ob ein hart am sehnigen Ende angelegter Querschnitt sich positiv verhalte; jene Gelegenheit ist nicht wiedergekehrt.[1]

Bei meinen früheren Auseinandersetzungen über die parelektronomische Strecke war ich ausser Stande, die elektromotorische Eigenthümlichkeit der Enden der Muskelbündel mit einem anatomischen Verhalten auch nur vermuthungsweise in Zusammenhang zu bringen. Jetzt liegt es nahe, sich hier zu erinnern, dass nach Hrn. Kühne dieselben Strecken des Sartorius, die wir als parelektronomisch zu bezeichnen Grund fanden, nervenlos sind.[2] Man könnte sich denken, dass am Ende der kurzen und energischen Gastroknemiusbündel die nervenlosen Strecken kürzer ausfallen, und dass deshalb auch die parelektronomische Strecke daran zur blossen Schicht wird. Freilich fehlt es noch an einer Vorstellung, wie Nervenlosigkeit Parelektronomie bedinge, und man kann die anatomische Grundlage der letzteren auch einfach darin sehen, dass am Ende

[1] [Ich bin seitdem glücklicher gewesen. Vergl. unten Abh. XX. §. IV.]

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 568.

des Muskelbündels die contractile Substanz aufhört. Man kann sich z. B. recht gut denken, dass gewisse Vorgänge, die sich bei der Verkürzung von den gereizten Stellen aus im Bündel fortpflanzen,[1] in dessen Verlaufe keine Spur hinterlassen, weil in jeder Querscheibe die Störung auf Kosten der folgenden Scheibe sich ausgleicht, dass aber am Ende des Bündels eine ver- [688] änderte Anordnung hinterbleibt, weil hier die Möglichkeit jener Ausgleichung abgeschnitten ist.[2]

Wie dem auch sei, es wird nicht leicht mehr ein Zweifel darüber obwalten, dass mit Berücksichtigung der Parelektronomie das elektromotorische Verhalten des natürlichen Querschnittes mit dem des künstlichen übereinstimmt, wie es das Gesetz des Muskelstromes verlangt.

IV. Viertens sollte, nach Hrn. Budge, der mit zwei künstlichen Querschnitten aufliegende Muskel den Strom auch noch stets in dem Sinne geben, wie zwischen den sehnigen Enden u. s. w.

Nachdem gezeigt ist, dass die elektromotorischen Wirkungen am unversehrten Muskel wesentlich von der Parelektronomie seiner sehnigen Enden abhängen, bedarf dieser Satz im Grunde keiner Widerlegung mehr, und dasselbe gilt von den beiden noch übrigen Sätzen, insofern darin gleichfalls nach Entfernung der sehnigen Enden ein Bezug angenommen wird zwischen deren Spannungsunterschied und dem anderer Punkte des Muskels. Wir wollen indess fortfahren, abgesehen von jeder Induction, Hrn. Budge Satz für Satz rein thatsächlich des Irrthums zu überführen.

(1.) Was erstens den Strom zwischen symmetrischen künstlichen Querschnitten betrifft, so bieten die 5. Spalte der IV. und die mit I. bezeichnete 3. Spalte der VI. Tabelle die Mittel zur Prüfung von Hrn. Budge's Lehre dar. Nur am Semimembranosus kann danach von deren Bestätigung die Rede sein. Zwischen symmetrischen künstlichen Querschnitten giebt dieser Muskel, wie zwischen sehnigen Enden, fast stets einen absteigenden Strom, dessen sehr wechselnde Stärke jedoch nie auch nur ein Drittel der Stärke des unteren Stromes beträgt, der hier stets dem oberen Strome bedeutend nachsteht. Diese Thatsache ist aber nicht etwa neu, und ich bin nicht erst durch Hrn. Budge darauf geführt worden. Vielmehr stand sie, nebst ihrer Erklärung, auf die wir zurückkommen werden, in meinem Werke dreizehn Jahre gedruckt,[3] ehe Hr. Budge an- [689] fing, sich mit dem Muskelstrom zu beschäftigen. Unter den übrigen Muskeln zeigen der Rectus internus und der Adductor

[1] Aeby, Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in der quergestreiften Muskelfaser. Braunschweig 1862. S. 69 ff.

[2] Vergl. unten Abh. XXVII. §. XXI.

[3] A. a. O. Bd. I. 1848. S. 497. 713.

magnus gleichfalls eine ausgesprochene Beständigkeit der Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten. Während aber der Rectus internus zwischen sehnigen Enden öfter absteigend wirkt (s. oben S. 159), wirkt er hier öfter, 22 Mal auf 30, aufsteigend, und nur 9 Mal auf 20 ist die Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten dieselbe wie zwischen sehnigen Enden. Während ferner der Adductor magnus zwischen sehnigen Enden öfter aufsteigend wirkt, wirkt er hier öfter, ja mit grosser Regelmässigkeit, 24 Mal auf 30, absteigend, und nur 6 Mal auf 20 ist die Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten dieselbe wie zwischen sehnigen Enden. Der Sartorius, der zwischen sehnigen Enden so entschieden absteigend wirkt, wirkt zwischen symmetrischen Querschnitten nur 16 Mal auf 30 absteigend, und nur 8 Mal auf 20 ist die Stromrichtung dieselbe bei beiden Anordnungen.

Nachdem mit jedem Muskel die in den drei ersten Spalten der VI. Tabelle verzeichneten Versuche gemacht waren, wurden, durch Abtragung einer gleich dicken Schicht an jedem Ende, zwei neue symmetrische Querschnitte hergestellt, und die Wirkung zwischen diesen erprobt. Dies wurde so oft wiederholt, bis zuletzt nur noch ein aus der Mitte des Muskels geschnittenes Stück übrig blieb, welches nicht mehr zu verkürzen ging. Natürlich trat diese Grenze an den dicken Muskeln früher ein als an den dünnen. Die Ergebnisse dieser Versuche hat man in den mit II., III., IV., V. bezeichneten Spalten der Tab. VI. vor sich. Sie weichen nicht sehr ab von den an den unverkürzten Muskeln gewonnenen. Der Semimembranosus und der Adductor magnus fahren fort, sehr beständig absteigend zu wirken; weniger sicher behält der Rectus internus seine aufsteigende Wirkung bei. Am Sartorius wechseln positive und negative, grosse und kleine Ausschläge mit einander ab, ohne irgend einen Bezug zu verrathen.

Nach Hrn. Budge sollte, in dem Maasse wie der Mus- [690] kel verkürzt wird, die Kraft des Eigenstromes abnehmen. Die Versuche sind nicht geeignet, diese Behauptung zu prüfen, weil darin auch der Widerstand abnahm. Doch ist auffallend, dass selbst bei den dicken Muskeln, wo die Veränderung des Gesammtwiderstandes des Kreises, in Anbetracht der Thonschilder, nur klein war, sich von jenem Verhalten nichts blicken lässt.

(2.) Aber der Budge'sche Satz sollte zweitens nicht allein zwischen symmetrischen Querschnitten, sondern auch zwischen solchen in beliebiger Höhe gelten. Diese Behauptung wird durch Tab. VII. vollständig widerlegt. Hier entsprechen jedem Muskel drei Zahlen. Die vor der Klammer befindlichen Zahlen sind die Ablenkungen zwischen künstlichen Querschnitten, die den sehnigen Enden nahe angelegt wurden, und geben für

sich Anlass zu denselben Wahrnehmungen, wie die so eben betrachteten gleichbedeutenden Zahlen der IV. und VI. Tabelle. Darauf wurde der Muskel durch einen dritten Querschnitt in zwei Abschnitte getheilt, und diese Abschnitte wurden nach einander mit ihren künstlichen Querschnitten aufgelegt. Die obere Zahl hinter der Klammer gehört dem oberen, die untere dem unteren Abschnitt. Der dritte Querschnitt wurde bei den drei ersten Fröschen in der geometrischen Mitte, bei den zwei letzten im Hilus angebracht. Man sieht, dass auch hier sich nichts den Budge'schen Behauptungen Entsprechendes herausstellt. Danach sollte der Strom in beiden Abschnitten stets gleichgerichtet sein; dies ist auf 40 Mal nur 18 Mal der Fall. Er sollte in beiden Abschnitten dieselbe Richtung haben wie im unzertheilten Muskel; dies trifft nur 13 Mal zu. Nur der obere Abschnitt des Rectus internus, und der untere des Semimembranosus, zeigen noch beständig, jener den auf-, dieser den absteigenden Strom. Am Sartorius macht sich schlechterdings kein Gesetz bemerkbar. Am Adductor magnus fällt auf, dass während dieser Muskel, zwischen symmetrischen Querschnitten, meist absteigend wirkt, in seinem unteren Abschnitt regelmässig der Strom aufsteigt; der Strom des oberen Abschnittes gehorcht keinem erkennbaren Gesetz. Ob die Muskeln in der Mitte [691] ihrer Länge oder im Hilus zerschnitten sind, scheint ganz gleichgültig. Dagegen haben wir oben S. 166 bereits erfahren, dass es nicht gleichgültig ist, ob der Querschnitt dem sehnigen Ende so nahe wie möglich oder in passendem Abstand angelegt wird. Im ersten Falle findet man aus dem angegebenen Grunde häufig den Strom in dem oberen Abschnitt auf-, in dem unteren absteigend.

Tab. VIII. beantwortet die Frage, welche sich hier aufdrängte, wie sich ein alter und ein frischer Querschnitt elektromotorisch zu einander verhalten. Diese Tabelle gleicht der vorigen, nur dass die Beobachtung mit dem ungetheilten Muskel wegblieb. Nachdem den sehnigen Enden nah künstliche Querschnitte angelegt waren, liess ich den Muskel 6, 16, 23 Stunden im feuchten Raume bei mittlerer Temperatur liegen, schnitt ihn dann in der Mitte quer durch, und legte nach einander die obere und die untere Hälfte einerseits mit dem alten, andererseits mit dem frischen Querschnitt auf. In den beiden letzten Versuchen reagirten die alten Querschnitte deutlich sauer.[1] Entstände durch das verschiedene Alter der Querschnitte ein elektromotorischer Unterschied, stark genug, um sich inmitten der sonst hier auftretenden Zufälligkeiten geltend zu machen, so würde sich dies darin äussern, dass alle oberen Zahlen das

---

[1] De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Auct. Aem. du Bois-Reymond. Berol. MDCCCLIX. 4. p. 14; — Monatsberichte der Akademie. 1859. S. 294. 297; — Vergl. oben S. 8. 11.

eine, alle unteren das andere Vorzeichen hätten. Unter den 23 oberen Zahlen (ein Versuch am Sartorius ging verloren) sind 14 negativ, unter den 23 unteren ebenso viel positiv. Doch ist hierauf kaum etwas zu geben, da am Sartorius keine einzige untere Zahl positiv ist, und das positive Uebergewicht nur vom Adductor herrührt, dessen unterer Abschnitt auch bei gleicher Frische der beiden Querschnitte aufsteigend wirkt. Dazu kommt, dass die Regelmässigkeit in der Vertheilung der Vorzeichen mit dem Altersunterschied der Querschnitte nicht zunimmt, und dass in mehreren Versuchen das Anfrischen [692] des alten Querschnittes die Wirkung unverändert liess. Auf alle Fälle ist gewiss, dass bei den gegenwärtigen Prüfungen der Altersunterschied der Querschnitte, der sich nur auf Minuten oder gar Secunden beläuft, nichts zu sagen hat.

V. Fünftens sollte, nach Hrn. Budge, der durch zwei künstliche Querschnitte begrenzte Muskel zwischen beliebigen Längsschnittspunkten auch noch stets einen Strom in demselben Sinne geben, wie zwischen sehnigen Enden, welcher Strom sich zu den schwachen Strömen des Längsschnittes algebraisch hinzufügt.

Tab. IV. lehrt, dass auch hieran nichts ist. Die 6. Spalte enthält die mit symmetrischen Längsschnittspunkten an den durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Muskeln erhaltenen Ablenkungen. Auch die einzelne, zu jedem Muskel gehörige Zahl in Tab. IX. hat dieselbe Bedeutung. Von einer Regelmässigkeit, wie Hrn. Budge's Theorie sie verlangt, zeigen diese Beobachtungen an und für sich keine Spur; und nur 25 Mal auf 40 fällt die Stromrichtung zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten zusammen mit der zwischen sehnigen Enden.

Die obere Zahl in der 7. Spalte von Tab. IV. wurde erhalten, als bei unveränderter Spannweite der eine Ableitungspunkt möglichst nahe an den oberen künstlichen Querschnitt verlegt wurde, die untere, als dasselbe mit dem unteren Ableitungspunkte geschah. Nach dem Gesetze des Muskelstromes soll jene negativ, diese positiv sein. Jene ist auf 10 Mal am Rectus internus negativ 8, am Adductor magnus 9, am Sartorius und Semimembranosus 10 Mal; diese am Rectus internus positiv 8, am Sartorius 9, am Adductor magnus und Semimembranosus 10 Mal. Dem Zeichen nach entsprechen also beide zusammen dem Gesetz im Ganzen 74 auf 80 Mal. Nach dem Gesetze sollten die oberen und unteren Zahlen gleich sein; nach Hrn. Budge sollten sie ungleich sein, und der Unterschied dasselbe Zeichen haben, wie der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten u. s. w. Die Tabelle lehrt, dass die Zahlen oft sehr un- [693] gleich sind, und dass 27 Mal auf 40 das Zeichen ihres Unterschiedes wirklich eins ist mit dem jenes Stromes.

Wir werden aber sehen, dass hierin nichts für Hrn. Budge Günstiges liegt, insofern dies beiden gemeinsame Zeichen seiner Theorie widerspricht (vergl. unten S. 176).

VI. Sechstens und schliesslich sollte, nach Hrn. Budge, der künstliche Strom, wenn er mit dem angeblichen Eigenstrome zwischen den sehnigen Enden u. s. w. gleiche Richtung hat, stärker sein, im anderen Falle schwächer.

Dies ist, wie man sich entsinnt, Hrn. Budge's Hauptsatz, den er auf die übrigen Muskeln vom Gastroknemius übertragen hat, wo zwar etwas der Art wirklich geschieht, aber, wie wir sahen, ganz anders zu deuten ist. Zur Beurtheilung dieses Satzes bieten die Tabellen IV., VI., IX. und X. das erforderliche Material. In der 8. Spalte von Tab. IV., der 2. von Tab. VI., ferner überall in Tab. IX. ist die obere Zahl die mit dem oberen, die untere die mit dem unteren künstlichen Strom erhaltene Ablenkung, so dass für jeden der vier Oberschenkelmuskeln 30 solche Versuche vorliegen. In Tab. X. sind die beiden zu jedem Muskel gehörigen Zahlen die obere und untere Stromkraft.[1] Der abgeleitete Längsschnittspunkt war stets der Aequator.

Man sieht zunächst, dass in den 422 Versuchen an regelmässigen Muskeln, worin Längsschnitt mit künstlichem Querschnitt zum Kreise geschlossen wurde, kein einziges falsches Zeichen vorkommt, auch nicht, wo der Querschnitt schräg war, wie in der I. und II. Tabelle; und in der That ereignet sich dies unter den gewöhnlichen Umständen nie. Was
[694] die Grösse der oberen und unteren Wirkungen betrifft, so gewährt folgende Tabelle einen Ueberblick der Mittel aus den 30 Versuchen der Tab. IV., VI. und IX., und den 10 der Tab. X.

| | Auf 30 Mal über-wiegt: | Mittlere obere \| untere Stromstärke. | | Deren Verhältniss. | Mittlere obere \| untere Stromkraft. | | Deren Verhältniss. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. int. | Unt. Str. 27 Mal | —52·3 | +86·0 | —1·000:+1·645 | —153·7 | +202·8 | —1·000:+1·319 |
| Sartor. | Ob. Str. 16 Mal | —172·1 | +165·9 | —1·037:+1·000 | —303·0 | +294·2 | —1·030:+1·000 |
| Add. m. | Ob. Str. 19 Mal | —295·9 | +284·2 | —1·041:+1·000 | —376·5 | +374·0 | —1·007:+1·000 |
| Semim. | Ob. Str. 30 Mal | —310·8 | +218·2 | —1·425:+1·000 | —410·4 | +365·3 | —1·123:+1·000 |

[1] Die Maasskette war ein für jeden Versuch frisch gefüllter grösserer Grove. Bei der dauernden guten Schliessung war es nicht zu verhindern, dass die Kraft der

Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen des Hrn. Budge, so zeigen sich hinsichtlich der in den einzelnen Muskeln vorwiegenden Stromrichtung und des Verhältnisses zwischen den beiden Stromstärken solche Abweichungen, dass man schliessen muss, Hr. Budge habe nur zum Theil Richtiges gesehen, im Uebrigen sei er durch Fehler seiner Versuchsweise getäuscht worden. Lassen wir dies vorläufig auf sich beruhen, und halten wir uns an unsere eigenen Wahrnehmungen, so findet sich allerdings am Rectus internus ein Uebergewicht des unteren, an den drei anderen Muskeln des oberen Stromes, welches sich darin ausprägt, dass dort jener, hier dieser Strom öfter der stärkere ist, und dass das Mittel der Wirkungen des einen Stromes das des anderen übertrifft. Doch erreicht nur am Rectus internus und Semimembranosus das Uebergewicht eine in Betracht kommende Häufigkeit und Grösse. Am Sartorius und Adductor magnus beträgt es, der letzteren nach, nur wenige Procent, und wenn man am nämlichen Muskel mehrmals abwechselnd den oberen und unteren Strom misst, erscheint bald der eine, bald der andere stärker, so dass man den wirklich stärkeren nur dadurch erkennt, dass man das Mittel aus einer grösseren Anzahl von Versuchen nimmt (S. oben S. 157. 158). Dabei fehlt [695] es, wie sich vorhersehen liess, an jedem Bezuge zwischen dem Sinn, in dem das Uebergewicht an unseren vier Muskeln im Mittel stattfindet, und der Stromrichtung zwischen sehnigen Enden. Zwar am Sartorius und Semimembranosus wiegt auch zwischen sehnigen Enden der obere Strom häufiger vor, am Rectus internus aber der obere, am Adductor magnus der untere, so dass Hrn. Budge's Hauptsatz zweimal zutrifft und zweimal nicht.

Man übersieht nun bereits das Schicksal auch dieses Satzes. Das Ergebniss gestaltet sich dafür aber noch ungünstiger, wenn man von der Betrachtung der Stromstärken zu der der elektromotorischen Kräfte übergeht. Im einzelnen Falle sowohl als im Mittel von Beobachtungsreihen, wie Tab. X. sie darbietet, zeigt sich, dass zwar die beiden Stromkräfte in demselben Sinne von einander abweichen, wie die Stromstärken, aber zum Theil um ansehnlich kleinere Grössen. Der Unterschied der Kräfte am Adductor magnus z. B. ist im Mittel aus 10 Versuchen so klein, dass, um ihn auszudrücken, die Verhältnisszahlen haben müssen bis auf die vierte Stelle berechnet werden, eine Genauigkeit, welche sonst hier keinen Sinn hätte.

---

Maasskette während der zwei Stunden, die über die 32 Messungen an jedem Frosch ungefähr hingingen, um ein paar Hundertel sank. Eine Berichtigung deshalb anzubringen, schien der Mühe nicht werth, da der Punkt, worauf es hier ankommt, das Verhältniss nämlich des oberen und des unteren Stromes an den einzelnen Muskeln, dadurch nicht merklich berührt wurde.

So bestätigt sich beiläufig, was oben S. 153 vom Vergleich der beiden künstlichen Ströme gesagt wurde, dass er an sich nichts lehre, was man nicht leichter durch Beobachtung des Stromes zwischen den künstlichen Querschnitten erfahre. Dieser Strom steht zum Unterschiede der beiden künstlichen Ströme in derselben Beziehung wie der Strom zwischen sehnigen Enden zum Unterschiede der beiden natürlichen Ströme (s. oben S. 161. 162). Die Häufigkeit des Vorkommens einer bestimmten Stromrichtung zwischen symmetrischen Querschnitten ist bei den verschiedenen Muskeln etwa die gleiche, wie die des Ueberwiegens des gleichgerichteten künstlichen Stromes. Zwischen symmetrischen Querschnitten hat auf 20 Mal der Strom am Rectus internus 16, am Sartorius und Adductor magnus 10, am Semimembranosus 19 Mal, auf 80 Mal im Ganzen 55 Mal, die gleiche Richtung mit dem stärkeren der beiden künstlichen Ströme. So wenig sich uns [696] eine Beziehung des Stromes zwischen symmetrischen Querschnitten zu dem zwischen sehnigen Enden offenbarte (s. oben S. 168 ff.), so wenig konnte also jetzt eine solche zwischen dem letzteren Strom und dem Unterschiede der beiden künstlichen Ströme hervortreten.

Abermals obliegt uns nun, nachdem die Budge'sche Deutung beseitigt ist, vom Standpunkte des Gesetzes des Muskelstromes die Erscheinungen zu rechtfertigen, welche, indem sie Hrn. Budge mehr oder minder entstellt zu Gesicht kamen, ihn zur Annahme des Eigenstromes veranlassten. Eine genauere Betrachtung unserer vier Muskeln führt zur Erklärung jener Erscheinungen wenigstens an zweien unter ihnen. Wir nennen diese vier Muskeln die mehr regelmässig gefaserten, und bedienen uns ihrer in Ermangelung besserer, obschon sie noch immer erhebliche Abweichungen von einer wahrhaft regelmässigen Gestalt zeigen. Der regelmässigste unter den vieren ist noch der Adductor magnus. Abgesehen davon, dass er oben ein wenig breiter und dünner ist als unten (vergl. oben S. 93), stellt er, durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzt, annähernd wirklich einen Cylinder mit gestreckt elliptischer Basis dar, und auch seine sehnigen Enden sind sehr symmetrisch gebildet. Daher an diesem Muskel das Gesetz des Muskelstromes sich am reinsten ausprägt.[1] Am Sartorius zeigt das untere sehnige Ende die oben S. 161 berührte Abweichung; durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzt, nähert sich aber auch dieser Muskel der idealen, beim Gesetze gedachten

---

[1] [Die sehnige Einschreibung an diesem Muskel und dem Semimembranosus, welche neuerlich die Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat (s. oben S. 53. Anm. 1), kann in elektromotorischer Beziehung vernachlässigt werden. Störungen würden dadurch nur in dem unwahrscheinlichen Fall herbeigeführt, wo die beiderseits an die Scheidewand stossenden Bündelenden verschiedene Parelektronomie besässen.]

Gestalt. Der Semimembranosus dagegen, dessen abweichender Bau bei der gleichen Gelegenheit zur Sprache kam, ist an seinem oberen, der Rectus internus an seinem unteren Ende dicker als an dem anderen. Hier also findet statt, was wir oben S. 155. 156 vorhersahen. Da der Widerstand der Muskeln, unter den gewöhnlichen Umständen, nicht gegen den des Kreises verschwindet, so liefern Rectus internus und Semimembranosus mit ihrem dickeren Abschnitt zwischen Aequator und Querschnitt ganz natürlich einen stärkeren Strom, als mit ihrem dünneren, und man dürfte hieraus noch nicht, wie Hr. Budge ohne Weiteres thut, auf ungleiche [697] Negativität der beiden Querschnitte schliessen. Die Beobachtung des Stromes zwischen den Querschnitten selber und die Messung der Spannungsunterschiede anstatt der Stromstärken lehrt indess, dass auch wirklich an beiden Muskeln der grössere Querschnitt öfter der negativere ist. In Bezug auf den Semimembranosus habe ich schon in meinem Werk[1] angegeben, dass dies auf die grössere elektromotorische Kraft dickerer Muskeln zurückzuführen sei, welche aus Tab. X. auf's Neue erhellt. Diese grössere Kraft selber war damals unerklärt. Jetzt leiten wir sie von der relativ kleineren Dicke der geschwächten oder unwirksamen Schicht an den dickeren Muskeln ab (s. oben S. 164. 165), und so lässt sich auch die grössere Negativität des oberen Querschnittes am Semimembranosus, des unteren am Rectus internus verstehen. Denkt man sich den kegelförmig verjüngten Muskel überall mit einer gleich dicken unwirksamen Schicht bekleidet, so muss der grössere Querschnitt eine geringere mittlere (positive) Spannung haben als der kleinere. Ausserdem mag an dem dünneren Muskel oder Muskelende die unwirksame Schicht auch absolut dicker sein, weil die Oberfläche, von der die schädlichen Einflüsse ausgehen, relativ grösser ist. Am Sartorius und Adductor magnus fällt zwar kein Grössenunterschied der Querschnitte in die Augen. Doch ist er in geringem Maasse vielleicht vorhanden, da auch hier die mittleren oberen und unteren Stromstärken und Stromkräfte in gleichem Sinne von einander abweichen, jene aber mehr als diese, was auf einen Unterschied der Widerstände schliessen lässt.

Um im einzelnen Falle das Ueberwiegen bald der einen, bald der anderen Stromkraft zu erklären, bietet sich jetzt die Vermuthung dar, dass aus irgend welchen Gründen die unwirksame Schicht bald am einen, bald am anderen Ende dicker sei. Stets wird das Ende, wo sie dünner ist, negativer erscheinen. Daneben bleibt noch die nah liegende Annahme, dass nicht überall im Muskelinneren die gleiche elektromoto- [698] rische

---

[1] A. a. O. Bd. I. S. 712 ff.

Kraft herrsche (vergl. oben S. 164). Wer da weiss, dass man nicht zwei aus demselben Stück geschnittene, sorgfältig gereinigte Platinbleche als Multiplicatorenden in destillirtes Wasser tauchen kann, ohne bei hinlänglicher Empfindlichkeit einen Ausschlag zu erhalten, wird es unbillig finden, wenn an zwei Querschnitte eines Muskels das Verlangen unbedingter Gleichartigkeit gestellt wird, und, weil diese fehlt, so wenig das Gesetz des Muskelstromes bezweifeln, als den elektromotorischen Unterschied von Platin und Zink aus dem Grunde, dass das Verhalten jedes Metalles innerhalb gewisser Grenzen schwankt.

Eine vollendete Theorie müsste hier allerdings noch von folgenden Umständen Rechenschaft geben. In Tab. IV. und IX. hat an dem durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Muskel der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten öfter die umgekehrte Richtung von der, welche der Unterschied des oberen und des unteren künstlichen Stromes zeigt. Auf 20 Mal trifft dies am Semimembranosus zwar nur 8, auf 19 Mal am Rectus internus nur 10, auf 18 Mal aber am Sartorius 13, und auf 19 Mal am Adductor magnus 15 Mal zu. Dagegen hat jener Strom, wie man sich erinnert (s. oben S. 171. 172), öfter gleichen Sinn mit dem Unterschied des oberen und unteren künstlichen Längsschnittsstromes, wie wir die in der 7. Spalte der vierten Tabelle verzeichneten Ströme nennen wollen, welche man zwischen dem Aequator und einem Längsschnittspunkt beziehlich dem oberen und dem unteren künstlichen Querschnitt nahe erhält. Demgemäss ist in Tab. IV. öfter der obere Strom vom Längs- zum Querschnitt der stärkere, wo der obere Längsschnittsstrom der schwächere ist, und umgekehrt. Auf 10 Mal trifft dies am Semimembranosus zwar nur 3, auf 9 Mal am Rectus internus nur 4, auf 9 Mal aber am Sartorius 6, am Adductor 7 Mal zu. Dass der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten und der Unterschied des oberen und unteren Längsschnittsstromes zugleich die umgekehrte Richtung vom Unterschiede des oberen und unteren Stromes vom Längs- zum Querschnitt haben, kommt auf 10 Mal am Semi- [699] membranosus freilich nur 2, auf 9 Mal am Rectus internus nur 3, am Sartorius aber 6, am Adductor 5 Mal vor, und an den beiden letzten Muskeln zeigt sich dies auch im Mittel der 10 Versuche. Macht man, wie wir vorschlugen, die grössere Negativität des einen Querschnittes davon abhängig, dass die unwirksame Schicht sich nach ihm hin verjüngt, so muss der Strom zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten in der beobachteten Richtung kreisen (s. oben S. 164). Weiter lässt sich vor der Hand nicht sicher schliessen, und es lässt sich noch nicht bestimmt sagen, weshalb an dem mehr kegelförmigen Semimembranosus und Rectus internus die geschilderten Beziehungen sich anders gestalten, als an dem

mehr cylindrischen Adductor und Sartorius. Was dagegen klar erhellt, ist, dass das Verhalten an den beiden letzten Muskeln Hrn. Budge's Lehre auf das Entschiedenste widerspricht.

Die sechs, aus dieser Lehre gefolgerten Sätze sind nun also, jeder für sich, als unhaltbar erwiesen. Wir hätten uns auch, statt dessen, kurz so fassen können. Hr. Budge behauptet, dass der unverletzte Muskel unter allen Umständen, der durch zwei Querschnitte begrenzte zwischen diesen Querschnitten und zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten, in dem (nach Hrn. Budge) beständigen Sinne des Unterschiedes zwischen oberem und unterem Strom wirke. Danach müsste in den sechs ersten Spalten von Tab. IV. bei jedem Muskel nur ein und dasselbe Vorzeichen stehen, und dies einerlei sein mit dem Vorzeichen des Unterschiedes der oberen und unteren Zahl in der 7. und 8. Spalte. Unter den 40 Versuchen der Tabelle ereignet sich dies nur 2 Mal, 1 Mal am Sartorius (II. B.), 1 Mal am Semimembranosus (III. A.). Damit allein wäre Hrn. Budge's Theorie der Stab gebrochen gewesen.

Ob in den kleinen Wirkungen, die bald im einen, bald im anderen Sinne zwischen Querschnitten oder Längsschnittspunkten auftreten, wo nach dem Gesetze Gleichgewicht herrschen sollte, sich noch ein gesetzliches Verhalten verstecke, ist nur so zu entscheiden, dass das Mittel aus hinlänglich vielen Beobachtungen gezogen wird, um anzunehmen, die zufälligen [700] Abweichungen glichen einander aus (s. oben S. 157. 158). Fände sich das Gesetz des Muskelstromes an einem Muskel in aller Strenge verwirklicht, so müssten im Mittel von hinlänglich vielen Beobachtungen die Zahlen in der 1., 2., 5. und 6. Spalte der Tab. IV. verschwinden, und die absoluten Werthe der negativen oberen Zahlen in der 3., 4., 7. und 8. Spalte mit denen der positiven unteren Zahlen zusammenfallen. Bleiben aber, auch bei der grössten Anzahl von Versuchen, immer noch bestimmte Werthe jener und Unterschiede dieser Zahlen übrig, so muss man schliessen, dass eine beständige Ursache die reine Ausprägung des Gesetzes störe.

Im Anhang zu Tab. IV. sind die Mittel aus dieser Tabelle mit den Mitteln aus den übrigen Tabellen, soweit erstere und letztere einerlei Versuche enthalten, vereinigt. Die eingeklammerten Zahlen über den Spalten des Anhanges besagen, aus wieviel Versuchen jede Zahl der Spalte stammt. Die Abweichungen zwischen den Mitteln aus den einzelnen Tabellen zeigen, dass die Beobachtungen noch nicht zahlreich genug sind, damit die zufälligen Störungen sich schon vollständig ausglichen. Auch müsste, um die Wirkungen des Muskels in verschiedenen Lagen ihrer Grösse nach zu vergleichen, die Messung der elektromotorischen Kräfte durchweg die der Stromstärken ersetzen. In ihrem jetzigen Zustande lässt die

Uebersicht der mittleren Wirkungen wenig erkennen, was nach den so eben besprochenen Eigenthümlichkeiten der einzelnen Muskeln nicht zu erwarten wäre, und insbesondere zeigt sich keine sichere Spur einer inneren Polarisation (s. oben S. 151).

Betrachtet man in Tab. X. die Kräfte an den verschiedenen Muskeln, so sieht man sie an den regelmässig gefaserten Muskeln mit dem Querschnitte wachsen, ganz wie ich dies, wenn auch minder unmittelbar, in meinem Werk aufgestellt hatte.[1] Wie damals, zeigte die grösste Kraft an diesen Muskeln auch jetzt der obere Strom des Semimembranosus. Es war von Wichtigkeit, diese Kräfte [701] mit denen zu vergleichen, welche man am Triceps und am Gastroknemius sowohl ohne wie mit Hülfe der natürlichen Neigungsströme erhält. Wir wissen schon (s. oben S. 142 ff.), dass an diesen beiden Muskeln die obere Stromkraft der unteren sich um so mehr nähert, je grösser die Parelektronomie. Aus Tab. X. erfährt man, dass alsdann diese Stromkräfte, mit Rücksicht auf den Querschnitt der Muskeln, auffallend klein sind, da sie zwischen denen am Rectus internus und denen am Sartorius stehen. Dies erklärt sich aus der Beschaffenheit der Querschnitte (s. oben S. 139). Nach Zerstörung der parelektronomischen Schicht zeichnet sich der Triceps, aus dem oben S. 145 erwähnten Grunde, nicht weiter aus. Am Gastroknemius dagegen erreicht bei mittlerer Spannweite die untere Stromkraft jetzt eine sehr bedeutende Grösse, welche in einzelnen Fällen die grösste obere Kraft des Semimembranosus, und im Mittel das Mittel für jene, übertrifft. Allein man kann dem Gastroknemius, nach zerstörter Schicht, noch ansehnlich stärkere Wirkungen entlocken, wenn man statt der mittleren die grösste Spannweite wählt, wovon Tab. III. Beispiele giebt. Aber auch die hier verzeichneten Kräfte lassen sich noch weit übertreffen dadurch, dass man unten nur ein kleines Stück vom Muskel abschneidet, so dass der Achillesspiegel in möglichst grosser Länge erhalten bleibt. Ich habe einmal die untere Kraft mit Kreosot als entwickelnder Flüssigkeit bis zu 936 Compensatorgraden sich steigern sehen; ein Werth dieser Kraft über 800 ist nichts ungewöhnliches. Mit Essigsäure erhält man auch sehr hohe Kräfte.[2] Kochsalz-, Höllenstein-, Kalihydrat-Lösung sind minder günstig, weil sie zugleich durch Nebenschliessung schwächen.

Mit diesen Kräften waren jetzt noch die zu vergleichen, welche man von den regelmässig gefaserten Muskeln mit Hülfe der künstlichen Neigungsströme erhält. Dazu kann man hier die nämliche Anordnung treffen, wie am Gastroknemius, d. h. einerseits den Längsschnitt oberhalb

[1] A. a. O. Bd. I. S. 703 ff.
[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 57. 78.

[702] der stumpfen Ecke zwischen Längsschnitt und schrägem Querschnitt, andererseits einen kleinen senkrechten Querschnitt berühren, durch den man die spitze Ecke abgestumpft hat, wobei freilich ungewiss bleibt, ob man dadurch, dass man den schrägen Querschnitt verkürzt, nicht mehr an elektromotorischer Kraft einbüsst, als man dadurch gewinnt, dass man statt des schrägen Querschnittes senkrechten berührt. Wie dem auch sei, auch diese Kräfte werden von der unteren Kraft eines wie oben behandelten Gastroknemius übertroffen, welche also überhaupt die höchste bisher an Froschmuskeln beobachtete ist. Dies erscheint in der Ordnung, wenn man die grosse Länge des Achillesspiegels erwägt, welche die des längsten gleich schrägen Querschnittes, den man an einem regelmässig gefaserten Muskel anlegen kann, bedeutend übersteigt.[1]

---

## Schlussbemerkungen.

### §. XII. Es bleibt in Betreff des Gesetzes des Muskelstromes beim Alten.

Somit ist der unwidersprechliche Beweis dafür geliefert, dass, wie Hrn. Budge's auf die Versuche am Gastroknemius gegründete Einwürfe gegen das Gesetz des Muskelstromes nur einem Missverständniss entsprangen, so seine Behauptung eines vom Längs- und Querschnitt unabhängigen Eigenstromes in den regelmässigen Muskeln ein Hirngespinnst ist. Wie die oben S. 149. 150 mitgetheilten Versuche zu erklären seien, durch welche er selber das Dasein dieses Stromes zu beweisen sucht, ist eine andere Frage. Sicher ist, dass diese Versuche falsch sind.

Von diesem Urtheil nehme ich vorläufig die am Biceps, den Peronei und dem Tibialis anticus aus, welche richtig sein mögen, obschon dies, nach Analogie der übrigen, wenig wahrscheinlich ist, die aber dann jedenfalls anders zu erklären sind, als Hr. Budge will. Ich habe diese Ver- [703] suche nicht wiederholt, weil ich ihnen bis auf Weiteres jede Beweiskraft in der vorliegenden Frage abspreche. Der Biceps, die Peronei und der Tibialis sind keine regelmässig gefaserten Muskeln. Der Biceps z. B. hat an jedem Ende einen langen Sehnenspiegel, der bis über die Mitte des Muskels reicht, und besteht somit aus kurzen, schrägen

---

[1] [Vergl. die Bestätigung dieser Thatsache durch genaue Messungen der elektromotorischen Kraft der Muskeln in Abh. XXI. §. III. — Ebenda, §. II, findet sich der absolute Werth der hier genannten Compensatorgrade angegeben.]

Fasern. Was Hr. Budge daran Längsschnitt nennt, ist, wie am Gastroknemius, grösstentheils natürlicher Querschnitt (s. oben S. 134). Der Tibialis ist ein doppelt gefiederter Muskel, unten mit einem Sehnenspiegel, oben mit einer im Muskel verborgenen Sehne versehen, von der, als Federschaft, jederseits nach unten die Fleischbündel abgehen. Einer Verwendung dieser Muskeln für den jetzigen Zweck müsste erst eine genaue Erforschung des Faserverlaufes daran voraufgehen, gleich der von uns am Gastroknemius angestellten, und es müsste überlegt werden, welche Wirkungen danach hier, vom Gesetze des Muskelstromes aus, und mit Berücksichtigung der Neigungsströme, zu erwarten wären. Wem es behagt, dies durchzuführen, der thue es doch: bei den Tausenden unregelmässig gestalteter Muskeln, die uns die Thierwelt bietet, hat er ein weites Feld der Thätigkeit vor sich. Seine Arbeit wird etwa so nützlich sein, wie die Eines, der darauf ausginge, die Vertheilung des Magnetismus in jedem Schlüsselbart, oder den Gang des Lichtes in jeder Glasscherbe zu erforschen, um sie mit den Gesetzen in Einklang zu finden, die man an linearen Magneten, oder an homogenen, regelmässig begrenzten Medien erkannt hat.

Aber auch Hrn. Budge's Versuche am Sartorius könnten richtig sein, und es würde ihnen jede Beweiskraft in seinem Sinn abgehen. Denn wie ein Strom, der im nämlichen Muskel bald nicht vorhanden, bald stark, bald schwach ist, bald auf-, bald absteigt (s. oben S. 150), ein Fundamentalphänomen sei, vor dem der Muskelstrom in den Hintergrund trete, begreife ich nicht.

Inzwischen Hrn. Budge's Versuche am Sartorius sowohl, wie an den übrigen regelmässig gefaserten Muskeln sind, ich wiederhole es, falsch.

[704] Sie sind falsch, denn er behauptet, dass bei allen Muskeln stets ein bestimmter Strom, der obere oder der untere, der stärkere sei. Unsere Tabellen lehren dagegen, dass, während der Rectus internus und Semimembranosus hier aus guten Gründen nicht mitreden, auf 40 Mal am Sartorius nur 20, am Adductor magnus nur 25 Mal der obere Strom vorwiegt. Den Sartorius freilich schliesst Hr. Budge selber von seiner Regel aus.

Hrn. Budge's Versuche sind falsch, denn man findet zwischen dem oberen und unteren Strome nicht entfernterweise solche Unterschiede, wie Hr. Budge angiebt. Am Adductor magnus und Sartorius, wo im Mittel von 30 Versuchen das Verhältniss des stärkeren Stromes zum schwächeren 1·04 beträgt, und wo es sich nur ausnahmsweise einmal bis zu 1·59 am ersteren, und 1·76 am letzteren Muskel erhebt, dafür aber auch dort gelegentlich bis zu 1·01, hier bis zur Einheit sinkt:

findet Hr. Budge selten ein kleineres Verhältniss der beiden Ströme als von 2:1, und häufig ein viel grösseres.

Hrn. Budge's Versuche sind falsch, denn während am Rectus internus das Verhältniss im Mittel wirklich die Grösse von 1·6:1, am Semimembranosus die von 1·4:1 erreicht, findet Hr. Budge am Rectus internus keinen erheblich grösseren, am Semimembranosus sogar einen viel kleineren Unterschied, als am Sartorius und Adductor magnus.

Hrn. Budge's Versuche sind falsch, denn während am Adductor magnus der Unterschied zwischen oberem und unterem Strome sich auf ein leises Uebergewicht des oberen Stromes beschränkt, findet Hr. Budge 18 Mal auf 19 ein ungeheures Uebergewicht auf Seiten des unteren Stromes.

Hrn. Budge's Versuche sind endlich falsch, denn wenn ich auch, in unzähligen Versuchen, einmal am Rectus internus den hart am sehnigen Ende angelegten Querschnitt schwach positiv gegen den Längsschnitt sah (s. oben S. 166), fällt doch unter den gewöhnlichen Umständen der künstliche Strom schlechterdings niemals verkehrt aus, was Hr. Budge am Adductor magnus für etwas Alltägliches ausgiebt.

[705] Wodurch Hr. Budge zu so falschen Ergebnissen geführt wurde, kann ich nicht errathen. Es ist keinenfalls allein die Vernachlässigung des Gesetzes der Spannweiten. Es ist nicht bloss, dass vielleicht an seinem Multiplicator, was leicht geschieht, die Intensitätencurve zu beiden Seiten des Nullpunktes verschieden steil war. Wie gross man sich die aus diesen beiden Punkten entspringenden Fehler vorstelle, man begreift nicht, weshalb er am Adductor magnus den Längsschnitt negativ gegen den Querschnitt fand.

Allein Hrn. Budge's falsche Versuche zu erklären, obliegt nicht mir und geht über meinen Horizont. Hr. Budge, der zur Vermeidung der Polarisation auch die Drähte zwischen den Zuleitungsgefässen und dem Multiplicator aus verquicktem Zink nimmt (s. oben S. 66. 67), begeht Fehler, auf die ich gar nicht verfallen kann.

Nach dem Allen kann es kaum nöthig sein, das Ergebniss dieser Untersuchung noch besonders auszusprechen. Es lautet einfach dahin, dass es in Betreff des Gesetzes des Muskelstromes beim Alten bleibt. Die scheinbaren Abweichungen von diesem Gesetz, die wir am unversehrten Gastroknemius erkannt haben, wo sie Hrn. Budge entgangen waren, obschon er darauf ausging, dergleichen zu entdecken, sind auf die von uns sogenannten Neigungsströme zurückgeführt. Die Abweichungen der Art am querdurchschnittenen Gastroknemius sind ebenso auf die Eigenschaften schräger Querschnitte zu beziehen. Die von Hrn. Budge behaupteten ungeheuren Unterschiede zwischen dem oberen und

unteren Strom an den regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln existiren nicht, sondern beruhen auf irgend einem Versuchsfehler. Was sich Annäherndes bei einigen Muskeln, z. B. dem Semimembranosus, beobachten lässt, rührt, wie ich vor Jahren zeigte, von Eigenthümlichkeiten im Bau solcher Muskeln her. Die methodische Prüfung der vier mehr regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches hat gelehrt, dass kein polarer Gegensatz ihrer Enden stattfindet, wie Hr. Budge ihn annimmt. Der meist vorhandene, grössere oder kleinere Spannungsunterschied der sehnigen Enden [706] erklärt sich durch deren verschiedene Parelektronomie, welche auch unter den gewöhnlichen Umständen an einem, ja an beiden Enden soweit gehen kann, dass der natürliche Strom verkehrt erscheint. Hrn. Budge's Versuch, die Matteucci'sche Lehre vom Eigenstrom wiederzubeleben, ist somit gänzlich gescheitert, und hat nur dazu gedient, das Maass seiner Befähigung in diesem Gebiete festzustellen.[1]

---

[1] [Der Schluss der Abhandlung ist fortgelassen, da er in sachlicher Beziehung nichts mehr von Bedeutung enthält, sondern sich mit den Untersuchungsmethoden des Hrn. Budge und des Hrn. Valentin in diesem Gebiete beschäftigt. Die zur Abhandlung gehörigen Tabellen s. am Schlusse des Bandes.

Ueber die in diesen Tabellen enthaltenen Messungen ist zu bemerken, dass es freilich besser gewesen wäre, statt Stromstärken überall elektromotorische Kräfte zu beobachten (Vergl. oben S. 177). Der Wunsch, Hrn. Budge's Angaben durch ganz ähnliche, aber richtig angestellte Versuche zu widerlegen, bestimmte mich, in vielen Fällen die Stromstärken vorzuziehen. Früher oder später wird die Arbeit, entsprechende Tabellen für die elektromotorischen Kräfte zu entwerfen, nicht zu umgehen sein, soll von der elektromotorischen Oberfläche des Muskels ein durch den Widerstand nicht getrübtes Bild gewonnen werden. Durch den aperiodischen Bussolspiegel ist übrigens jetzt diese Arbeit sehr erleichtert.

Ueber einen einflussreichen Fehler, mit welchem die Zahlen der Tabellen behaftet sind, vergl. unten S. 193. 206—213.]

---

## XIX.

# Ueber die durch Dehnung der Muskeln hervorgerufenen Neigungsströme.

(Gelesen in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 25. Juni 1866.)[1]

Richtet man einen cylindrischen Muskel durch zwei parallele, schräg gegen die Axe geführte Schnitte so zu, dass die Durchschnittsfigur einer durch die Axe senkrecht zu den Schnitten gelegten Ebene ein Rhombus ist,[2] so entfaltet der Muskel, wie ich vor mehreren Jahren zeigte, neue und überraschende elektromotorische Eigenschaften.

Punkte der Muskeloberfläche nahe den beiden stumpfen Rhombusecken verhalten sich nämlich stark positiv gegen Punkte nahe den beiden spitzen Rhombusecken, gleichviel ob die Punkte dem Längsschnitt, oder den schrägen Querschnitten angehören. Der Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt besteht dabei fort, aber wegen der Schräge des letzteren in geringerem Maasse. Ebenso bestehen fort am Längs- und Querschnitt die sogenannten schwachen Ströme vom Aequator nach den Grenzen zwischen Längs- und Querschnitt, von diesen Grenzen nach den Polen. Die Neigungsströme, so heissen die neuen in Folge der Neigung des Querschnittes gegen die Axe hervortretenden Ströme, summiren sich algebraisch zu den Strömen vom Längs- zum Querschnitt und zu den schwachen Strömen am Längs- und am Querschnitt. Nicht nur letztere, sondern, wegen ihrer Schwächung in Folge der Neigung des Querschnittes, auch erstere Ströme unterliegen dabei häufig [388] den Neigungsströmen, so dass der Strom zwischen einem Längsschnittspunkte

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1866. S. 387.

[2] So sage ich der Kürze halber. In Wirklichkeit kommt es nicht darauf an, ob die Längs- und Querschnittsseiten der Figur sämmtlich gleich sind, wie der Name Rhombus es eigentlich verlangen würde, oder ob nur die gegenüberliegenden Seiten einander entsprechen, d. h. ob die Figur ein schräges Parallelogramm, auch wohl Rhomboid genannt, ist.

nahe einer spitzen Rhombusecke und einem Querschnittspunkte nahe einer stumpfen Rhombusecke nicht, wie er nach dem Gesetz des Muskelstromes sollte, ausnahmslos vom ersteren zum letzteren Punkte, sondern zuweilen umgekehrt fliesst. Ja so gross ist die elektromotorische Kraft der Neigungsströme, dass man sie sogar über den Strom zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt siegen sieht. Nachdem ich so der künstlichen Neigungsströme Herr geworden, habe ich auch die elektromotorischen Anomalien gewisser Muskeln, z. B. des Gastroknemius vom Frosch, darauf zurückgeführt, dass wegen ihrer schrägen natürlichen Querschnitte daran natürliche Neigungsströme auftreten. Endlich habe ich alle diese Erscheinungen, und noch manche daran sich knüpfende Umstände, aus meiner lange vorher ohne deren Kenntniss aufgestellten Hypothese über die Anordnung der elektromotorischen Elemente im Muskel mit solcher Schärfe abgeleitet, dass ich behaupten durfte, bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit hätten jene Erscheinungen sich aus dieser Hypothese vorhersagen lassen.[1]

Seitdem habe ich eine neue Art gefunden, die Neigungsströme hervorzurufen, welche mir sehr bemerkenswerth erscheint, obschon oder auch weil sie sich wiederum, bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit, aus der Theorie hätte vorhersagen lassen.

Der Muskel, am besten auch hier der Adductor magnus eines grossen Frosches,[2] wird so zugerichtet, als handelte es sich um den gewöhnlichen Muskelstrom, d. h. er wird an jedem Ende durch einen senkrechten künstlichen Querschnitt begränzt. Indem man aber dann zwei diagonal einander gegenüberstehende Ecken fasst und auseinanderzieht, ertheilt man ihm die rhombische Gestalt (s. Fig. 34. 1. 2. 3.). Dies geschieht am bequem- [389] sten, indem man den Muskel auf einen gefirnissten Kork legt, und Insectennadeln durch die Ecken sticht, welche zu spitzen Rhombusecken bestimmt sind. Man kann aber auch, um dem Verdacht zu begegnen, als spielten die Nadeln eine elektromotorische Rolle, den Muskel mittels zweier Pinzetten rhombisch dehnen, und ihn dann sich selber überlassen, indem die Elasticität des Muskels nicht vermag, der Adhäsion und den inneren Widerständen entgegen ihm die rechtwinklige Form wiederzugeben. In der Richtung der *Inscriptio tendinea*, welche schräg über die äussere Fläche des Adductor magnus und des Semimembranosus verläuft [S. oben S. 174] lassen sich die Muskeln begreiflich nicht so gut rhombisch dehnen, wie in der Richtung der anderen Diagonale.

Legt man nun dem durch Dehnen erzeugten Muskelrhombus die

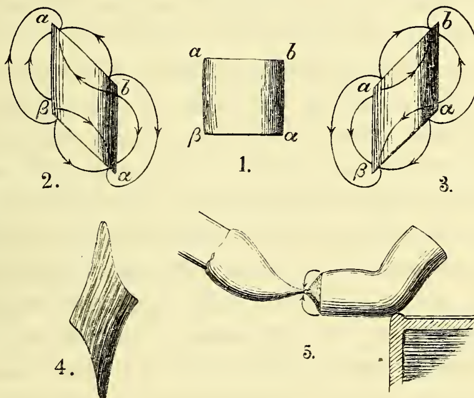
---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 558 ff.; — s. oben S. 93 ff.. §. VI—IX.

[2] A. a. O. S. 568; — s. oben S. 101.

Thonspitzen zweier unpolarisirbaren Zuleitungsröhren als Multiplicatorenden an, so findet man daran die Neigungsströme ganz nach denselben Gesetzen verlaufend vor, als handelte es sich um einen rhombisch zugeschnittenen, oder von Natur rhombischen Muskel. Die jedesmaligen stumpfen Rhombusecken verhalten sich positiv gegen die jedesmaligen spitzen Ecken, gleichviel ob man die Spitzen dem Längsschnitt oder dem Querschnitt anlege, oder welche der acht möglichen, in Fig. 34. 2. und 3. sichtbaren Stellungen man dem ableitenden Bogen ertheile; so dass das blosse Dehnen des Muskels nach [390] der einen oder anderen Diagonale genügt, Ströme, wo vorher keine waren, nach Belieben in der einen oder der anderen Richtung hervorzurufen. Es gelingt nicht selten, an einem und demselben Muskelstück alle sechszehn in Fig. 34. 2. und 3. abgebildeten Versuche mit nur einem oder zwei Fehlern durch-

Fig. 34.




zumachen, und selbst in letzteren Fällen lässt die verhältnissmässige Schwäche der im falschen Sinn erfolgenden Wirkung das Gesetz hindurchblicken. Am wenigsten sicher, aus leicht ersichtlichen Gründen, ist der Erfolg zwischen Punkten, die zwei verschiedenen Querschnitten angehören. Den Neigungsströmen an den durch Dehnen hergestellten Muskelrhomben liegen übrigens keine so grossen elektromotorischen Kräfte zu Grunde wie denen an den rhombisch zugeschnittenen, vollends an den von Natur rhombischen Muskeln. Dies ist auch nicht zu erwarten, 1. weil durch Zerschneiden der Querschnitt schräger und länger gemacht werden kann, als durch Dehnen, 2. weil nach den stumpfen Ecken des durch Dehnen entstandenen Rhombus zu, die ausserhalb der Richtung des Zuges liegen, die Neigung des Querschnittes abnimmt, so dass die Ecke selber schliesslich fast eine rechte bleibt (Fig. 34. 4.).

Diese neue Art, die Neigungsströme zu erzeugen, lehrt abermals,

wenn dies nach dem früheren noch zweifelhaft sein könnte,[1] dass diese Ströme nicht auf vorherbestehenden elektromotorischen Unterschieden verschiedener Punkte der Oberfläche des Muskels oder seines Inneren beruhen; da man hier mehreremal nach einander, je nachdem man $a$, $\alpha$ zu stumpfen und $b$, $\beta$ zu spitzen Ecken macht, oder umgekehrt, $a$, $\alpha$ nach Belieben positiv oder negativ gegen $b$, $\beta$ sehen kann.

Um die Erscheinung zu verstehen, muss man sich zunächst vergegenwärtigen, dass die Hüllen der Primitivmuskelbündel unverschiebbar mit einander verwachsen sind. Die diagonale Dehnung des Muskels zum Rhombus kann also nicht anders geschehen, als indem Ebenen im Inneren der Bündel, welche im ungedehnten Zustande quere waren, schräge werden. Dass dem wirklich so sei, sieht man unter dem Mikroskop an den Querstreifen, welche im natürlichen Zustande senkrecht auf die [391] Axe der Bündel, durch einen diagonalen Zug sich völlig schräg stellen. Die Beobachtung gelingt leicht an dem Reichert'schen Hautmuskel des Frosches.[2] Man präparirt den Muskel so, dass an seinem vorderen Ende ein Streif Haut, an seinem hinteren ein Stück Bauchmuskel sitzen bleiben, um zur Handhabe zu dienen. Eine Korkscheibe bildet den Objectträger; über ein kleines Loch darin ist ein Glimmerplättchen geklebt, worauf der Muskel zu liegen kommt. Mittels der abgeschnittenen Spitzen zweier Insectennadeln ertheilt man ihm den diagonalen Zug, und bedeckt ihn mit einem Stückchen Deckplättchen, dessen dem Muskel zugekehrte Seite man mit einer passenden Flüssigkeit benetzt hat. An dickeren Muskeln, sogar schon am Sartorius, misslingt dieser Versuch, weil man die Querstreifen nur an den oberflächlichen Bündeln unterscheiden kann, diese aber dem Zuge minder ausgesetzt sind, welcher auf der beide Angriffspunkte verbindenden Geraden am stärksten wirkt. Man muss sich nun denken, dass, während so die ganzen Bündel nicht an einander verschiebbar sind, dies für die Längsreihen der elektromotorischen Molekeln der Fall ist, und dass deren Axen der Axe des Bündels parallel bleiben, während die queren Ebenen, in denen sie angeordnet sind, zu schrägen werden. Was aber von jeder queren Ebene im Inneren des Muskels gilt, muss auch für die letzte noch wirksame Schicht am künstlichen Querschnitt wahr sein. Es werden sich also hier in Folge des Zuges die letzten dipolar elektromotorischen Molekeln, oder die letzten negativ nach aussen wirksamen elektromotorischen Flächenelemente, ebenso treppenförmig übereinander verschieben, wie sie nach meiner Annahme am schräg geschnittenen Querschnitt stehen bleiben,

---

[1] A. a. O. S. 570; — s. oben S. 102.

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1851. S. 29.

am schrägen natürlichen Querschnitt, abgesehen von der parelektronomischen Schicht, von Natur angeordnet sind, und es wird so eine in der Ebene des Querschnittes gelegene unvollkommene Säule zu Stande kommen, wie sie genügt, um die Neigungsströme zu erklären.

Mit Hülfe der neuen Erscheinung wird eine sehr sonderbare Thatsache verständlich, durch die ich auch darauf geführt worden bin. Ich war bemüht, die grösste elektromotorische Kraft des Muskels zwischen Aequator und Pol in der Art zu bestimmen, dass ich den Muskel, passend unterstützt, mit dem [392] Aequator auf den von Glimmer freien Rand des Thonschildes eines der gewöhnlichen Zuleitungsgefässe legte, die negativste Stelle des Querschnittes aber mittels der Thonspitze einer unpolarisirbaren Zuleitungsröhre aufsuchte. Wenn ich hierbei die Spitze langsam vom Querschnitt abzog, blieb oft der Querschnitt daran kleben und folgte dem Zuge der Spitze, indem er sich kegelförmig erhob (Fig. 34. 5.). Jedesmal ist dieser Vorgang von einer beträchtlichen Erhöhung der elektromotorischen Kraft begleitet. Ich stellte mir zuerst vor, diese rühre nur daher, dass die Spitze beim Berühren des Querschnittes stets etwas zwischen die Bündel gerathe und so zum Theil Längsschnitt berühre, von dem sie sich beim Herausziehen mehr ablöse; oder auch daher, dass die kegelförmige Erhebung als Vergrösserung des Querschnittes wirke. Sehr bald verfiel ich aber darauf, dass der kegelförmig erhobene Querschnitt in allen Richtungen von der Spitze abwärts schrägen Querschnitt darstelle, so dass der Kegel gleichsam als entstanden anzusehen sei durch die Umdrehung eines Muskelrhombus zweiter Art um die durch die Querschnittsecken gelegte Axe;[1] da denn die Spitze, wie die Pfeile in Fig. 34. 5. es anzeigen, sich negativ gegen den Umfang der Kegelbasis verhalten muss. Einmal soweit gekommen, zweifelte ich keinen Augenblick, dass ein durch Verschiebung erzeugter schräger Querschnitt ebenso einen Neigungsstrom liefern werde, wie ein schräg geschnittener, oder von Natur schräger; und die oben beschriebenen Versuche haben, wie wir sahen, diese Vermuthung in vollem Maasse bestätigt.

---

[1] A. a. O. S. 570. 571; — s. oben S. 102. 103.

XX.

# Ueber die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes bei Anwendung der neuen Methoden zu deren Ableitung.[1]

## §. I. Einleitung.

Mit Hülfe der neuen von mir beschriebenen Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken lassen sich jetzt leicht Fragen beantworten, an deren Entscheidung früher nicht zu denken war. Die Beseitigung der Ladungen, die Anwendung des mit verdünnter Kochsalzlösung angekneteten Thones statt der Eiweisshäutchen, das Arbeiten im feuchten Raume, die Beobachtung der Ablenkungen mit Spiegel, Fernrohr, Scale und Dämpfung, das neue Verfahren zur Messung der elektromotorischen Kräfte: dies Alles macht es möglich, scharfe Messungen an Stelle der früheren schwankenden und untereinander nicht vergleichbaren Bestimmungen zu setzen, und es wird kaum einen Punkt des bereits durchforschten Feldes geben, wo nicht dergestalt Berichtigungen und Zusätze anzubringen wären. Vieles davon kann späterer Zeit überlassen werden, insofern das Fortschreiten in noch unentdecktes Gebiet im Augenblicke mehr Vortheil verspricht, als genauere Kenntniss des schon angebauten; anderes muss, so lästig solcher Aufenthalt dünken mag, sogleich in's Reine gebracht werden, insofern die Sicherheit fast jedes weiteren Fortschrittes davon abhängt.

Hierzu gehört die Untersuchung des zeitlichen Verlaufes [258] des Stromes der Muskeln und Nerven im ruhenden Zustande, unter den gewöhnlichen Umständen der Versuche. Das, was ich in meinen 'Untersuchungen' die Erscheinungsweise der thierisch-elektrischen Ströme am Multiplicator genannt habe,[2] ist durch Anwendung jener neuen Hülfsmittel jetzt so verändert, dass man kaum glaubt, es noch mit denselben

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1867. S. 257.

[2] A. a. O. Bd. I. S. 234 ff.

Phänomenen zu thun zu haben. Ich hätte, was in dieser Beziehung mitzutheilen ist, bereits an seinem natürlichen Platz, in der 'Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken'[1] besprochen, wäre ich nicht noch in der zwölften Stunde auf Dinge gestossen, die erst bis zu einem gewissen Punkt ergründet sein wollten, ehe eine Auseinandersetzung des Verhaltens möglich war.

### §. II. Unter den gewöhnlichen Umständen der Versuche ist die ableitende Vorrichtung jetzt frei von Polarisation und von secundärem Widerstande.

Die den thierisch-elektrischen Strom ableitende Vorrichtung an sich ist, unter den gewöhnlichen Umständen der Versuche, jetzt als frei von Polarisation und von secundärem Widerstand anzusehen. Es fehlt zwar darin nicht an Polarisationen, allein sie sind zu schwach, um sich bemerkbar zu machen. Schiebt man die Zuleitungsgefässe mit den vorderen Flächen ihrer Bäusche aneinander, sendet man den Strom einer Daniell'schen Kette eine halbe Minute hindurch, und verbindet man darauf schnell die Gefässe mit der Bussole, deren feine Rollen auf Null sind, so erfolgt ein Ausschlag von etwa $30^{sc}$ im umgekehrten Sinne des ursprünglichen Stromes. Er rührt her von der unter diesen Umständen doch nicht völlig verschwindenden Polarisation des verquickten Zinkes in der schwefelsauren Zinklösung. Der Ausschlag wird aber wegen des erhöhten Widerstandes bereits unmerklich, wenn man die Bäusche mit Thonschildern versieht und diese einander berühren lässt, vollends, wenn man einen [259] Thonstab von den Maassen eines Muskels mit seinen Enden zwischen die Thonschilder klemmt.

Noch weniger kann sich hier etwas zu erkennen geben von der inneren Polarisation des mit der Zinklösung getränkten Fliesspapieres der Bäusche und des mit der 0·75 procentigen Kochsalzlösung angekneteten Thones, oder von der äusseren Polarisation an der Grenze der Zinklösung und der im Thon enthaltenen Kochsalzlösung. Ich habe diese Polarisationen, um besser darüber urtheilen zu können, mit Hülfe genau derselben Vorrichtungen und Versuchsweisen untersucht, die mir einst dienten, die Polarisation an der Grenze ungleichartiger Elektrolyte und die innere Polarisation der feuchten porösen Halbleiter zuerst zu erkennen und zu studiren,[2] nur mit dem Unterschiede, dass jetzt die Zuleitungs-

[1] S. oben Bd. I. S. 145.
[2] S. oben Bd. I. S. 1. 13.

gefässe der Säule sowohl wie die des Multiplicators verquickte Zinkplatten in gesättigter schwefelsaurer Zinklösung enthielten.

Die Polarisation an der Grenze der gesättigten schwefelsauren Zinklösung und der 0·75 procentigen Kochsalzlösung ist negativ, und so stark, dass die Nadel des Nervenmultiplicators dadurch an die Hemmung geführt wurde, wenn die Kochsalzlösung zwischen Zinklösung 5″ lang dem Strom einer zwanziggliederigen Grove'schen Säule ausgesetzt gewesen war. Sie ist ferner ausgezeichnet durch grössere Nachhaltigkeit, als mir bisher bei irgend einer anderen Combination vorgekommen ist. Sich selber überlassen, auch zum Kreise geschlossen, blieb die Vorrichtung, wie es schien, in's Unbegrenzte polarisirt; um sie wieder gleichartig zu machen, musste der Strom in entgegengesetzter Richtung hindurchgeschickt werden. Diese Polarisation ist die Summe zweier negativen Polarisationen, deren eine da stattfindet, wo der Strom aus der Zink- in die Kochsalzlösung tritt, die andere da, wo er letztere Lösung für erstere wieder verlässt. Ich habe dies, wie bei jener früheren Gelegenheit für Kochsalzlösung und Schwefelsäure, mittels des an das Peltier'sche Kreuz erinnernden Verfahrens [260] nachgewiesen, indem ich die Zuleitungsgefässe der Säule und des Multiplicators über's Kreuz durch einen Zinkbausch und einen Thonstab verband, die sich in der Mitte berührten.[1]

Die inneren Polarisationen des mit der gesättigten Zinklösung getränkten Fliesspapieres und des mit der verdünnten Kochsalzlösung angekneteten Thones, die ich mittels der Hförmigen Anordnung untersuchte,[2] fand ich dagegen so schwach, dass sie auch nach längerem Hindurchsenden des Stromes der zwanziggliederigen Säule nur wenige Grade Ausschlag am Nervenmultiplicator erzeugten.

Dass diese Polarisationen bei den thierisch-elektrischen Versuchen nicht in Betracht kommen, und dass sich, mit Strömen dieser Ordnung, auch kein merklicher secundärer Widerstand in unserer Vorrichtung entwickelt, lehrt folgender Versuch. Schiebt man die Zuleitungsgefässe mit den zur Aufnahme der thierischen Theile bestimmten Thonschildern aneinander, oder bringt man zwischen letztere einen Thonstab von den Maassen eines Muskels in der oben erwähnten Art an, und sendet man, mittels des Compensators, durch die Vorrichtung und die Bussole einen von einer Grove'schen Kette entlehnten Stromzweig von der Ordnung des Muskelstromes, so sieht man, bei mehreren hundert Scalentheilen Ablenkung, den Faden anfangs unbeweglich auf der Theilung stehen. Im Lauf einer Stunde freilich ereignen sich, auch abgesehen von den

---

[1] S. oben Bd. I. S. 8. 9.
[2] S. oben Bd. I. S. 13. 14.

Aenderungen des Nullpunktes, denen ich durch Verschieben der Scale in ihrer Verlängerung begegne,[1] geringe, nicht zu vermeidende Schwankungen. In meinen Versuchen nahm innerhalb dieses Zeitraumes die Stromstärke gewöhnlich erst um etwa 0·01 zu, und näherte sich dann wieder ihrem ursprünglichen Werthe. Was also hier noch von Polarisation und secundärem Widerstande vorhanden war, trat zurück gegen andere geringfügige Umstände, die zufällig eine Erhöhung der Stromstärke verur- [261] sachten, wie die Erwärmung der Flüssigkeiten der Kette und des Nebenschliessdrahtes, das Eindringen der Zinklösung in die Thonschilder u. s. w.

Selbst mit viel stärkeren Strömen, und bei geringerem Querschnitt der durchströmten Thonmasse, bleibt der Erfolg der nämliche. Die Thonspitzen zweier meiner unpolarisirbaren Zuleitungsröhren wurden aneinander gedrückt, und der Strom einer fünfgliederigen Grove'schen Säule eine Viertelstunde hindurch geschickt. Die Ablenkung wuchs von 64·8 auf 66·0, unstreitig durch Erwärmung der Spitzen; beim Umkehren des Stromes nur in den Zuleitungsröhren kam der Spiegel wieder auf 66·0, und keine Spur langsamen Wachsens gab sich kund, die auf Verschwinden von secundärem Widerstande zu deuten gewesen wäre. In einem zweiten Falle, bei mehr dem Spiegel genäherten Rollen, stieg die Ablenkung zuerst von 135·0 auf 139·2, und sank dann auf 129·8, vermuthlich wegen Austrocknens der erwärmten Spitzen; beim Umlegen sprang sie auf 130·5, wohl wegen Polarisation des Zinkes, aber ohne eine Spur langsamen Wachsens. Ebenso war das Verhalten sogar mit zehn Grove.

## §. III. Die Muskeln und Nerven an sich sind innerlich polarisirbar, durch fremde Ströme sowohl wie durch ihren eigenen Strom.

Anders gestalten sich die Dinge, wenn man nunmehr auf die Thonschilder einen Muskel mit zwei symmetrischen Punkten des Längsschnittes, oder mit zwei künstlichen Querschnitten, möglichst stromlos auflegt, und dann einen Stromzweig von gleicher Stärke hindurchschickt wie vorher. Jetzt ist der Stromzweig nicht mehr beständig, sondern im Sinken begriffen, und wenn man die Vorrichtung, nachdem sie eine Zeit lang dem Stromzweig ausgesetzt war, plötzlich in den Bussolkreis aufnimmt, so erfolgt ein Ausschlag in der umgekehrten Richtung des Stromzweiges im Muskel, welcher nur von einer Polarisation der Vorrichtung herrühren kann. Dieser Ausschlag wächst mit der Dauer der Durch-

[1] S. oben Bd. I. S. 156.

strömung, indem er sich einer Grenze nähert; er nimmt wieder ab und kehrt sich um, wenn der Strom umgekehrt wird. Wiederholt man mit einem Muskel [262] zwischen den Thonschildern den Eingangs beschriebenen Versuch mit der DANIELL'schen Kette, so erfolgen, wo mit einem Thonstab zwischen den Thonschildern die Polarisation kaum merklich war, jetzt gegen 100 sc Ausschlag.

Die so durch Einführung des Muskels in die Vorrichtung ermöglichte Polarisation kann von zweierlei herrühren. Es kann erstens äussere Polarisation sein, an der Grenze des Muskels und des Thones, zweitens innere Polarisation des Muskelgewebes. Doch ist unwahrscheinlich, dass erstere Ursache hier einer bemerkbaren Wirkung fähig sei. Dagegen ist die innere Polarisirbarkeit des Muskelgewebes leicht folgendermaassen zu erweisen. Man sendet durch den auf den Thonschildern der Zuleitungsgefässe liegenden Muskel den Strom eines Daniells. Dem Muskel sind zwischen den Thonschildern die Thonspitzen zweier unpolarisirbaren Zuleitungsröhren so angelegt, dass bei offenem Kreise des Daniells die zwischen den Spitzen befindliche Bussole keine Wirkung von Seiten des Muskels erfährt. Nachdem bei offenem Kreise der Bussole der Strom des Daniells hinlänglich lange durch den Muskel geflossen ist, wird durch eine Wippe der Kreis des Daniells geöffnet, der der Bussole geschlossen. Es erfolgt ein Ausschlag im umgekehrten Sinne von dem des Stromes des Daniells im Muskel.

Die nämlichen Erfahrungen, wie mit Muskeln, kann man mit Nerven machen. Auch durch Einführung von Nerven in den Kreis wird unsere Vorrichtung polarisirbar. Es ist zweckmässig, sich zur Untersuchung dieses Verhaltens mehrerer Nerven zugleich zu bedienen, um den Widerstand zu vermindern und die Austrocknung zu verzögern. Der Magnetspiegel ist dabei durch HAUY'sche Compensation astatisch zu machen.

Nach der von Hrn. HELMHOLTZ entwickelten Theorie[1] werden die Nerven und Muskeln von dem Strome, den sie durch einen Kreis senden, dessen Enden ihnen angelegt sind, ebenso durchflossen, als hätte dieser Strom seinen Ursprung an [263] einer beliebigen Stelle jenes Kreises. Daraus folgt im Verein mit dem Vorigen, dass im Gebiete des Nerven- und Muskelstromes streng genommen ein beständiger Strom unmöglich ist. Die Nerven und Muskeln, in wirksamer Lage in den geschlossenen Kreis gebracht, müssen sich selber innerlich polarisiren, und ihr Strom müsste also an Stärke abnehmen, auch wenn die ihn erzeugende Kraft dieselbe bliebe.

---

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 211. 353.

Ehe wir indess untersuchen, ob dies in merklichem Grade der Fall sei, haben wir noch von gewissen Umständen Kenntniss zu nehmen, welche, wie sich mit den jetzigen Hülfsmitteln zeigt, die Kraft der thierischen Elektromotore beeinflussen.

## §. IV. Die elektromotorische Kraft des Muskels hängt wesentlich davon ab, wie der Querschnitt berührt wird.

Die elektromotorische Kraft zwischen Längs- und künstlichem Querschnitt der Muskeln, bei denen wir zunächst verweilen, hängt nach meinen früheren Angaben bekanntlich ab: 1) von dem Ernährungszustande des Thieres; 2) von den Maassen des angewendeten Muskelstückes. Sie wächst, wie schon so oft gesagt, mit dessen Länge und Querschnitt. Sie ist also, bei gleicher Rüstigkeit der Thiere, an den Muskeln eines grösseren Frosches etwas grösser als an denen eines kleineren; und noch grössere Unterschiede bedingt der verschiedene Querschnitt der vier regelmässigen Oberschenkelmuskeln an einem und demselben Thier. Das Verhältniss der Kraft und Stärke an den vier Muskeln bei gleicher Länge ist übrigens noch genauer festzustellen, indem die Tabellen der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.',[1] denen man dies Verhältniss sonst entnehmen könnte, in dieser Beziehung mit einem Fehler behaftet sind, der bald zur Sprache kommen wird. (S. unten §. VII.)

Dass die Negativität des Querschnittes am Sartorius und Cutaneus[2]

---

[1] S. oben S. 157.

[2] Seit ich zum letzten Mal über die elektromotorischen Erscheinungen an Froschmuskeln ausführlicher schrieb, ist die erste Abtheilung von Hrn. Alex. Ecker's „Anatomie des Frosches" (Braunschweig 1864) erschienen, eines Werkes, welches bestimmt ist, einem lange, häufig und tief gefühlten Bedürfniss der Physiologen abzuhelfen. Hr. Ecker vergleicht den bisher von mir nach Cuvier und Dugès (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 496) als Adductor magnus bezeichneten Muskel, zusammen mit dem Rectus internus derselben Autoren, dem Gracilis des Menschen, und nennt ersteren den Rectus internus major, letzteren den Rectus internus minor. (A. a. O. S. 114. 115.) Für den häufigen Gebrauch, den die allgemeine Muskelphysik davon zu machen hat, sind dies zu schleppende Namen; ihre Aehnlichkeit begünstigt Irrungen, und sie lassen sich nicht charakteristisch abkürzen. Da es aber gerade die allgemeine Muskelphysik ist, um deren Interesse es sich hier handelt, und welche jenen Muskeln Bedeutung verlieh, so darf sie, bei der jetzt hier bezweckten Namenberichtigung, vielleicht ein Wort mitsprechen. Ich werde daher fortan den Adductor magnus den Gracilis, den in seinem Verlaufe mit der Haut verwachsenen Rectus internus minor den Cutaneus (femoris) nennen. Dass der Gracilis beim Frosch nicht gracil und der Cutaneus kein reiner Hautmuskel ist, weiss

nahe den Enden kleiner als in einiger Entfernung [264] davon gefunden wird, habe ich auch bereits in der mehrerwähnten Abhandlung gezeigt, und auf diese Beobachtung im Verein mit der Thatsache, dass das oberflächliche Anätzen des natürlichen Querschnittes der regelmässigen Muskeln durch eine entwickelnde Flüssigkeit dem Querschnitt seine gesetzmässige Negativität zuweilen nicht ertheilt, die Lehre von der parelektronomischen Strecke gegründet, im Gegensatz zu der von der parelektronomischen Schicht, wie ich sie nach den Beobachtungen am Gastroknemius und den ihm ähnlichen Muskeln aufgestellt hatte.[1] Auch sonst kommen der Länge des Mus- [265] kels nach sichtlich Stellen von grösserer und geringerer Negativität des Querschnittes vor. Dadurch erklären sich die Wirkungen, die man nicht selten an Muskeln, welche an beiden Enden durch künstlichen Querschnitt begrenzt sind, dem Gesetze des Muskelstromes zuwider, zwischen symmetrischen Punkten des Längsschnittes beobachtet; ferner die Wirkungen zwischen zwei beliebigen Gesammtquerschnitten, wie auch zwischen entsprechenden Punkten zweier Querschnitte.

In allen diesen Fällen handelt es sich um Vergleichung der Wirkungen verschiedener Muskeln, oder wenigstens verschiedener Querschnitte. Kraft und Stromstärke können nun aber auch am nämlichen Muskelstück, das, mit dem nämlichen künstlichen Querschnitt, und jedesmal so genau wie möglich mit dem Aequator des natürlichen Längsschnittes aufgelegt wird, unabhängig vom zeitlichen Verlauf, um eine sehr ansehnliche Grösse, bis um ein volles Drittel, verschieden ausfallen. Auch am aufliegenden Muskel kann man durch geringe Lageänderungen bedeutende Aenderungen seiner Kraft und Stromstärke bewirken, die Nichts mit den durch die Zeit herbeigeführten Schwankungen zu thun haben. Ich hatte auf diesen Punkt zwar schon früher gelegentlich hingewiesen,[2] ihn jedoch

---

ich wohl; inzwischen leisten diese Namen sonst Alles, was sie sollen, und wer auf ersteren Einwand hören wollte, dürfte auch beim Frosch nicht, wie Hr. Ecker, vom Semimembranosus, Semitendinosus, Cucullaris u. s. w. reden.

[1] S. oben S. 167. Ich benutze diese Gelegenheit, um zu bemerken, dass es mir seitdem gelungen ist, die für die Theorie der Parelektronomie entscheidende Beobachtung anzustellen, an der es damals noch fehlte. Zweimal ist es mir im Winter 1865—66, unter sehr zahlreichen, zu anderen Zwecken angestellten Versuchen, wieder begegnet, dass ein dem oberen sehnigen Ende des Cutaneus ganz nahe angelegter senkrechter Querschnitt sich schwach positiv, statt negativ, gegen den Längsschnitt verhielt; und in dem einen Falle glückte es mir, festzustellen, dass an dem abgeschnittenen Stücke der künstliche Querschnitt negativ gegen den natürlichen war.

[2] S. oben S. 157.

noch nie so ergründet, wie es nöthig war, um für vergleichende Messungen an verschiedenen Querschnitten gebührend vorbereitet zu sein.

Jetzt habe ich zunächst ermittelt, dass die fraglichen Unterschiede nur zum kleinsten Theile von Verschiebungen des Ableitungspunktes am Längsschnitt herrühren, sondern fast ausschliesslich davon, wie der Querschnitt das Thonschild berührt. Wird er diesem angedrückt, so ist in der Regel die Kraft am kleinsten, während der Strom, der guten Leitung halber, verhältnissmässig stark erscheint. Fast ausnahmslos er- [266] folgt ein positiver Ausschlag, wenn bei compensirtem Strom durch Zurückziehen des Zuleitungsgefässes das Thonschild vom Querschnitt gelöst wird; und indem man das Thonschild nur mit gewissen Punkten des Querschnittes in Berührung lässt, gelingt es auch meist dauernd grössere Kräfte zu erhalten, als bei Andrücken des Schildes an den Querschnitt, wenn auch, der schlechteren Leitung halber, der Strom verhältnissmässig schwach erscheint.

Diese Erscheinungen werden verständlich von zwei Gesichtspunkten aus; erstens durch die grössere Negativität der dem geometrischen Mittelpunkte des Querschnittes, oder dem einen Muskelpol, näher gelegenen Punkte; zweitens durch die von mir sogenannten Neigungsströme. Berührt der Querschnitt das Thonschild in grösserer Ausdehnung, so ist die mittlere Negativität des ersteren kleiner, als bei Berührung mit nur wenigen, der Mitte nahen Punkten; am kleinsten, wenn der Querschnitt dem Thonschild angedrückt wird, da alsdann auch alle solche Punkte an der Berührung Theil nehmen, die, als dem Längsschnitt am nächsten, am wenigsten negativ sind; ja, wie schon früher bemerkt,[1] es leicht geschieht, dass durch Umlegen der Kante zwischen Quer- und Längsschnitt letzterer selber in's Spiel kommt. Ist sodann der Querschnitt nicht völlig senkrecht, oder wird durch das Ankleben am Thonschild ein Punkt des Querschnittes als Spitze eines Kegels hervorgezogen, dessen Mantel der Querschnitt bildet,[2] so verhält der so vorspringende Punkt sich negativer als es bei senkrechtem oder ebenem Querschnitt der Fall sein würde: abermals ein Grund, weshalb bei stärkerem Andrücken des Thonschildes an den Querschnitt die Kraft kleiner ausfällt.

Die Gründe der hier betrachteten Schwankungen der Kraft sind somit klar genug; leider ist uns aber damit auch die Hoffnung benommen, diese Schwankungen zu beseitigen oder un- [267] schädlich zu machen. Die Unmöglichkeit, die Berührung von Thonschild und Querschnitt genau zu regeln, bleibt eines der grössten, wenn nicht das grösste

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 503; — s. oben S. 153.
[2] S. oben S. 187.

der Hindernisse für die Vergleichung der elektromotorischen Kraft verschiedener Muskeln oder desselben Muskels unter verschiedenen Umständen, und macht es nöthig, soll eine solche Vergleichung statthaft sein, ihr die Mittel aus sehr zahlreichen Versuchen zu Grunde zu legen.

Eine andere Störung, welche vorzüglich an den dünneren Muskeln, dem Sartorius, Cutaneus, und zwar besonders bei Winterfröschen, sehr lästig wird, besteht darin, dass sich die Muskeln tetanisch zusammenziehen. Alsdann findet man ihre Kraft ausnehmend vermindert, so dass von einem Vergleich mit der Kraft anderer Muskeln keine Rede ist. Die Kraft des Sartorius z. B. kann mit dem einen künstlichen Querschnitt zu 300 Compensatorgraden gefunden werden. Dann tritt Tetanus ein, und nun giebt der andere Querschnitt, oder auch der erstere, nur noch eine Kraft von etwa 80 solchen Graden. Eine Erholung aus diesem Zustande findet am ausgeschnittenen Muskel nicht statt, und Dehnen ändert das Verhalten nicht merklich. Man kann einen diesem Zustande völlig ähnlichen dadurch hervorrufen, dass man einen Sartorius Ammoniakdampf aussetzt.[1]

Die Kraft der Nerven hängt bekanntlich gleich der der Muskeln vom Ernährungszustande und den Maassen ab. Ich glaube aber auch einen beständigen Unterschied der Negativität des oberen und des unteren Querschnittes zu Gunsten des ersteren am Ischiadnerven des Frosches beobachtet zu haben, so dass beim Auflegen beider Querschnitte der Nerv einen absteigenden Strom giebt, beim Auflegen zweier Längsschnittspunkte der Aequator abwärts verschoben erscheint. Hr. Dr. Leube ist mit der Untersuchung dieses Gegenstandes in meinem Laboratorium beschäftigt.[2] Auch von den Nerven gilt natürlich, was von den Muskeln rücksichtlich des Einflusses der Berührung zwischen Querschnitt und Thonschild gesagt wurde; nur dass die Kleinheit des Querschnittes nicht erlaubt, [268] diesen Einfluss, wie an den Muskeln, auf seine jedesmaligen Gründe zurückzuführen.

### §. V. Vom zeitlichen Verlauf der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke am aufliegenden Muskel. Die innere Polarisation des Muskels durch seinen eigenen Strom kommt nicht in Betracht neben den sonstigen Schwankungen der Kraft.

Habe ich einen M. gracilis (s. oben S. 193 Anm. 2.) oder semimembranosus bei offenem Kreise mit natürlichem Längs- und künstlichem

[1] Vergl. Kühne, im Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 224.

[2] [Die Frage ist noch nicht endgültig erledigt.]

Querschnitt auf die Thonschilder meiner Vorrichtung gebettet und schliesse ich den Kreis mittels des Schlüssels, so verschiebt sich das Bild der Theilung pfeilschnell im bekannten Sinne des Muskelstromes, kommt aber, vermöge der Dämpfung, nach wenigen Secunden zur Ruhe in einer Ablenkung von 200—400 $^{sc}$. An meinem Compensator, bei seiner jetzigen Aufstellung, und mit einer grösseren GROVE'schen Kette als Maasskette, findet sich die entsprechende Kraft zu 250—550 $^{Cgr.}$ (Compensatorgraden).[1]

Ein Ischiadnerv vom Frosch giebt unter denselben Umständen höchstens 25 $^{sc}$ Ablenkung;[2] bei gehörig astatischem Spiegel jedoch gelingt es leicht, diese Ablenkung zu verzehnfachen. Die elektromotorische Kraft, am Compensator gemessen, findet sich zu 100—150 Graden.

Bleibt der Muskel unverrückt liegen, so sieht man das Scalenbild sich meist der Gleichgewichtslage nähern. Das Sinken der Ablenkung beträgt in den ersten fünf Minuten etwa 20 $^{sc}$ und nimmt in der Regel an Geschwindigkeit ab. Misst man von Zeit zu Zeit die Kraft am Compensator, so findet man auch diese in allmählicher, immer langsamer werdender Abnahme begriffen.

Bei den dünneren Muskeln ist die Abnahme der Wirkun- [269] gen geschwinder. Aber selbst in jenem Falle ist sie bereits zu beträchtlich, um sie allein der inneren Polarisation der Muskeln durch ihren eigenen Strom zuzuschreiben. Um zu prüfen, ob diese Polarisation daran überhaupt einen merklichen Antheil habe, stellte ich mit Muskeln, die sich sonst unter möglichst gleichen Umständen befanden, vergleichende Versuchsreihen über den zeitlichen Verlauf ihres Stromes an, je nachdem 1) der Kreis dauernd geschlossen gehalten wurde, so dass der Muskel sich selber polarisirte, ausgenommen in den Zeiträumen, welche nöthig waren, um die elektromotorische Kraft zu messen; 2) der Kreis dauernd offen stand, so dass der Muskel sich nicht polarisirte, ausgenommen in den Zeiträumen, welche nöthig waren, um die Stromstärke abzulesen und die Compensation herbeizuführen; 3) der Kreis zwar dauernd geschlossen, dabei aber der Muskelstrom compensirt wurde, so dass der Muskel sich nicht polarisirte, ausgenommen in den unter (2) genannten Zeiträumen; 4) der Muskel nicht dauernd auf den Thonschildern lag, sondern nur von Zeit zu Zeit in möglichst gleicher Art darauf gebracht wurde, wobei der Muskel sich also abermals nicht polarisirte, ausgenommen in den unter (2) und (3) genannten Zeiträumen. In allen vier Fällen geschah

---

[1] Ueber den absoluten Werth dieser Compensatorgrade vergl. die binnen Kurzem folgende Abhandlung „Ueber die elektromotorische Kraft der Muskeln u. s. w.“ — [S. unten S. 241.]

[2] S. oben Bd. I. S. 154.

die Prüfung der Stromstärke und Kraft von fünf zu fünf Minuten eine Stunde lang.

Kommt bei der Abnahme der Muskelstromkraft die innere Polarisation in Betracht, so musste in den drei letzten Fällen diese Abnahme eine langsamere sein, als in dem ersten. Dies gab sich nicht deutlich zu erkennen, obschon die Versuche meist am Sartorius angestellt wurden, an dem, wegen seiner Dünne, abgesehen von dem zu rasch absterbenden Cutaneus, die Polarisation am ehsten bemerkbar werden könnte. Ebensowenig gelang es 5), abwechselnd schnelleres und langsameres Sinken der Stromstärke und Kraft dadurch herbeizuführen, dass der Kreis abwechselnd fünf Minuten geschlossen und fünf Minuten offen gehalten wurde.

Die aus anderen Gründen erfolgende Abnahme der Muskelstromkraft, welche bald schneller, bald langsamer vor sich geht, verdeckt also die durch die innere Polarisation bedingte [270] Schwächung so, dass letztere sich wenigstens im einzelnen Versuch nicht darthun lässt; was jedoch gelingen müsste, wenn man das Mittel aus einer hinlänglich grossen Zahl von Versuchen zöge.

Hiernach ist zu berichtigen, was ich bei früheren Gelegenheiten über die Beständigkeit des Muskelstromes bei offenem, und sein Sinken bei geschlossenem Kreise gesagt habe.[1] Ich bin damals durch einen besonderen Umstand getäuscht worden, den ich erst seitdem, bei ausdrücklich auf diesen Punkt gerichteten Bemühungen, unterscheiden gelernt habe. Es ist der, dass nicht selten der Muskelstrom, anstatt zu sinken, kürzer oder länger nach dem Auflegen steigt, dann beständig bleibt, und nun erst sinkt. Zwischen diesem Zustande und dem, wo das Sinken sofort beginnt, liegt ein solcher, wo der Strom längere Zeit ganz beständig erscheint. Die Beständigkeit ist zuweilen so gross, dass während einer Viertelstunde die Stromstärke sich nicht um 0·005 ändert. Solchem Verhalten war ich zufällig begegnet, als ich mit offenem Kreise oder mit compensirtem Muskelstrom einzelne Versuche anstellte, aus denen ich voreilig schloss, dass der Muskelstrom längere Zeit beständig bleibe, wenn ihm nicht Gelegenheit werde, den Muskel innerlich zu polarisiren.

---

[1] S. oben Bd. I. S. 161. Anm. 2. Ueber Wirkungen, die der inneren Polarisation der Muskeln zugeschrieben werden könnten, vergl. oben S. 114. 115. 151. 152.

## §. VI. Die öfter vorkommende Zunahme der Muskelstromkraft in der ersten Zeit nach dem Auflegen wird näher untersucht.

Das Ansteigen des Muskelstromes nach dem Auflegen — eine Erscheinung, welche natürlich mit polarisirbaren Elektroden sich der Beobachtung entzog — ist unter Umständen so beträchtlich, dass die Stärke um mehr als den vierten Theil zunimmt, und findet alsdann in den ersten Augenblicken mit solcher Lebhaftigkeit statt, dass man das Scalenbild am Faden [271] vorbeiwandern sieht. Die Dauer dieses Wachsthums beläuft sich auf 1 bis 20 Minuten. Der Compensator zeigt, dass es dabei wesentlich um Wachsen der elektromotorischen Kraft sich handelt; obschon, wie noch genauer erörtert werden soll, auch der Widerstand sinkt.

Das Steigen der Kraft sieht man am häufigsten an den dickeren Muskeln, dem Gracilis und Semimembranosus, viel seltener am Sartorius, am seltensten am Cutaneus, und zwar kommt es am oberen künstlichen Querschnitt der dickeren Muskeln öfter und stärker vor, als am unteren. Es ereignet sich zuweilen, dass man es mit einem bestimmten Querschnitt nicht beobachtet, d. h. dass der davon abgeleitete Strom sinkt, dass aber das Steigen sich kundgiebt, nachdem man einen neuen Querschnitt angelegt hat. Auch sieht man von den beiden künstlichen Strömen, dem oberen und dem unteren,[1] den einen abnehmen, den anderen, meist alsdann den oberen, zunehmen, obschon man diesen zuletzt beobachtet. Es ist gleichgültig, ob das Thier eben getödtet ist, oder ob die Muskeln schon längere Zeit des Kreislaufes beraubt sind und sich der Starre nähern; ob sie in der Haut aufbewahrt wurden oder der Luft ausgesetzt waren; ja die Erscheinung wird durch längeres Liegenlassen des Thieres nach dem Tode eher begünstigt. Auch beim Auflegen mehrere Stunden alter Querschnitte, ja beim wiederholten Auflegen von Querschnitten, deren Kraft schon einmal den Gipfel erreicht hatte, kommt das Wachsen vor.

Aehnliches giebt sich kund in Bezug auf den schwachen Strom zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes. Hier ist es sogar die Regel, dass man den Strom im Wachsen begriffen findet, und das Wachsen kann eine Verdoppelung der ursprünglichen Stromstärke herbeiführen. Auch ist es etwas ganz Gewöhnliches, dass der Strom zwischen Aequator und einem dem Querschnitt nahen Punkte noch wächst, zu

---

[1] S. oben S. 158.

einer Zeit, wo der Strom zwischen Längs- und Querschnitt selber bereits wieder sinkt, oder an einem Ende des Muskels, oder auch an einem Muskel überhaupt, wo gar kein Steigen des [272] letzteren Stromes beobachtet wird. Während das Steigen des Stromes zwischen Längs- und Querschnitt, wie bemerkt, an den dünneren Muskeln, dem Sartorius und Cutaneus, viel seltener vorkommt, sieht man die Längsschnittsströme daran wie an den dickeren Muskeln wachsen.

Die Längsschnittsströme sieht man auch an den Nerven wachsen, während der Strom zwischen Längs- und Querschnitt hier stets sinkend angetroffen wird.

Endlich auch den Strom zwischen verschiedenen Punkten eines senkrechten künstlichen Querschnittes habe ich wachsen sehen.[1] Dagegen ist mir dies mit den Neigungsströmen in wiederholten Versuchen nicht geglückt.

Das Steigen des Längsschnittsstromes und das des Stromes vom Längs- zum Querschnitt stellen sich nach dem Vorigen als von einander unabhängige Vorgänge dar.

Was Ersteres betrifft, so kann wohl kaum ein Zweifel sein, dass wir darin die Entstehung der schwachen Ströme des Längs- und Querschnittes auf der That ertappt haben, wie ich sie, auf Grund der Theorie des Hrn. Helmholtz, in der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.' erläutert habe.

Der überall mit peripolaren Gruppen gleich starker dipolarer Molekeln erfüllte Muskel würde nur den Strom zwischen Längs- und Querschnitt zeigen. Damit in einem passend angelegten Bogen die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes hervortreten, muss der Muskel an Längs- und Querschnitt mit einer unwirksamen oder geschwächten Schicht umgeben sein.

Bis auf die jüngste Zeit bot die Entstehung dieser Schicht am ausgeschnittenen Muskel beiläufig eine Schwierigkeit dar. Nach Hrn. G. v. Liebig's Angaben über die grössere Lebensdauer ausgeschnittener Muskeln in Sauerstoff und atmosphärischer Luft im Gegensatz zu Wasserstoff und Stick- [273] stoff hätte man sich denken sollen, dass gerade die oberflächlichen Schichten des Muskels, weil im Verkehr mit dem atmosphärischen Sauerstoff bevorzugt, ihre Lebenseigenschaften länger behalten würden, als die inneren, jenem Verkehr entzogenen Schichten. A. a. O., S. 114, suchte ich dieser Schwierigkeit durch die Bemerkung zu entgehen, dass es keine Art gebe, die thierischen Gebilde auf ihre

---

[1] Ueber die Art, diesen Strom an Froschmuskeln zu beobachten, vergl. oben S. 96.

Ströme zu prüfen, wobei nicht ihre oberflächlichen Schichten einer Aenderung ihres Wassergehaltes ausgesetzt seien. Durch die neuen Untersuchungen von Hrn. Lud. Hermann ist dieser Widerspruch beseitigt. Danach treten die ausgeschnittenen Muskeln mit dem Sauerstoff eines umgebenden Gasgemenges in keinen physiologischen, d. h. in keinen Verkehr, der einer Fortsetzung ihrer Athmung gliche, sondern der Sauerstoff bewirkt im Gegentheil an ihrer Oberfläche Zersetzungen, die als der Anfang der Fäulniss anzusehen sind, und die Hr. Hermann unter dem Namen der Oberflächenzehrung begreift.[1]

Es ist also völlig in der Ordnung, dass am Umfange des ausgeschnittenen Muskels sich eine geschwächte Schicht bildet; und da die Stärke der Längsschnittsströme in Bezug auf Dicke und Leitungsgüte der geschwächten Schicht ein Maximum haben muss,[2] ist es ganz verständlich, dass es oft gelingt, in der ersten Zeit nach dem Auflegen jene Ströme noch wachsen zu sehen, sowie dass dies selbst da vorkommt, wo die Negativität des zugehörigen Querschnittes im Sinken begriffen ist. Denn die Zunahme des Längsschnittsstromes wegen wachsender Dicke und Leitungsgüte der geschwächten Schicht kann die Abnahme wegen sinkender elektromotorischer Kraft übertreffen. Ebenso würde natürlich das Wachsen der Ströme zwischen verschiedenen Punkten eines senkrechten Querschnittes aufzufassen sein, und die nämliche Erklärung passt für das Wachsen der Längsschnittsströme der Nerven.

Ungleich schwerer ist es, sich eine befriedigende Vorstel- [274] lung zu bilden über die Ursache des Steigens des Stromes zwischen Längs- und Querschnitt selber.

Was zunächst einleuchtete, war, dass die Ursache hiervon nicht gesucht werden durfte in dem Anlegen eines leitenden Bogens an den Muskel, oder dem Schliessen des Muskels zum Kreise, mit anderen Worten, dass es sich dabei nicht um eine Wirkung des in den Multiplicator abgeleiteten Stromarmes handelt, also z. B. um eine Art von positiver Polarisation des Muskels. Dies folgt bereits daraus, dass das Steigen auch bei compensirtem Strome vorkommt. Man kann aber auch unmittelbar beobachten, dass die Kraft zu wachsen fortfährt, wenn man den Kreis öffnet, indem man sie bei erneutem Schlusse grösser findet als vorher.

Eine andere, sehr nahe liegende Vermuthung war, dass Tem-

---

[1] Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln, ausgehend vom Gaswechsel derselben. Berlin 1867. S. 41. 42; — [Vergl. indess Joh. Ranke, Die Lebensbedingungen der Nerven. Leipzig 1868. S. 28.]

[2] S. oben S. 113.

peraturerhöhung die Ursache des Steigens sei. Dem würde nicht widersprechen, dass das Steigen sich oft als eine nur örtliche Erscheinung darstellt, insofern man es nur an dem zweitaufgelegten Ende des Muskels wahrnimmt. Denn man kann sich denken, der zeitliche Verlauf der Kraft sei das Ergebniss zweier entgegengesetzter Wirkungen, deren eine das zeitweise Steigen, die andere das Sinken nach der Zurichtung bedinge. An Nerven und an dünnen Muskeln, wie dem Sartorius, Cutaneus, und so auch am dünneren Ende des Semimembranosus, an künstlichen Muskelrhomben habe das Sinken regelmässig die Oberhand; aus unbekanntem Grunde auch meist am unteren Ende des Gracilis; minder oft am oberen Ende dieses Muskels und des Semimembranosus. Bei dieser Vorstellung kann man also dem Steigen der Kraft, trotz dessen scheinbarer Oertlichkeit, eine überall im Muskel oder Nerven wirksame oder allgemeine Ursache, gleich der Temperaturerhöhung, unterlegen; indem man die Oertlichkeit vielmehr der entgegenwirkenden Ursache zuschreibt, die das gleichzeitige Sinken der Kraft bedingt.

Allein erstens ist es noch gar nicht gewiss, dass eine Temperaturerhöhung die Kraft der Froschmuskeln erhöhe. Nach Hrn. Matteucci und Hrn. Cima sollen die Muskeln von Fröschen, welche in niederer Temperatur verweilten, einen schwä- [275] cheren Strom liefern; der Strom soll sich heben, wenn man die Frösche wieder erwärme.[1] Ich lasse es dahingestellt sein, ob diese schwer tadelfrei anzustellenden Beobachtungen richtig seien. Aber sie könnten es in vollem Maasse sein, ohne uns hier der Entscheidung näher zu bringen: denn es könnte die Verlangsamung des Kreislaufes und Hemmung des Stoffwechsels, wie sie bei wechselwarmen Thieren die Erkältung begleitet, die Schwächung des Gegensatzes von Längs- und Querschnitt mittelbar bedingen, ohne dass am ausgeschnittenen Muskel dieser Gegensatz, wenn er einmal da ist, durch die Temperatur verändert würde. Und es ist mir nicht gelungen, eine Versuchsweise zu ersinnen, um dies mit Schärfe zu prüfen. Die vergeblichen Versuche, die ich dazu anstellte, verweise ich in eine Anmerkung,[2] um nicht [276] den Gang der Erörterung dadurch länger,

---

[1] S. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 28.

[2] Zuerst tauchte ich einfach die Muskeln, nachdem ich ihre Kraft gemessen, bei gewöhnlicher Zimmerwärme in 30° C. warme, 0·75 procentige Kochsalzlösung, liess sie so lange darin, dass ich annehmen konnte, sie seien durchwärmt, und legte sie dann zum zweiten Mal auf, nachdem ich sie mit Fliesspapier getrocknet hatte. Das Ergebniss war stets eine grössere oder geringere Kraftabnahme. Offenbar liess sich aber so eine kleine Kraftzunahme nicht bemerken. Dazu war nöthig, dass der Muskel unverrückt auf den Bäuschen liegen bleibe. Dabei war es aber wieder schwierig, den Muskel zu durchwärmen, dessen Leitvermögen für die Wärme

und auf alle Fälle nutzlos, zu unterbrechen; denn das Steigen der Kraft findet auch unter Umständen statt, wo zu keiner irgend merklichen Temperaturänderung Anlass ist, wie in dem Falle, wo die zugerichteten Muskeln eine Zeit lang im Laboratorium in einer feuchten Kammer neben der die Zuleitungsgefässe enthaltenden Kammer verweilt haben.

Ebensowenig ist sodann zu denken an das Verschwinden einer Nachwirkung der letzten während des Lebens stattgehabten Zuckungen.[1] Denn die Erscheinung stellt sich auch an den Muskeln von Thieren ein, welche nach dem Tode längere Zeit, 24 Stunden und mehr, ruhig liegen bleiben; ja sie tritt sogar unter diesen Umständen vorzüglich stark auf. Selbst an einem mit Curara vergifteten Frosche wurde 24 Stunden nach dem Tode gelegentlich das Steigen beobachtet.

Auch durch das Verschwinden einer negativen Polarisation könnte

---

sehr klein ist, wie aus den Versuchen Küchenmeister's über die Temperatur im Inneren grösserer Stücke Bratens und Kochfleisches erhellt. Das Benetzen des aufliegenden Muskels mit 35° warmem Mandelöl blieb ganz wirkungslos. Als ich einen heissen Wasserdampfstrahl gegen den Muskel richtete, erhielt ich bald Zu-, bald Abnahme der Kraft. Besser war der Erfolg, als ich dem Muskel einen glühenden Bolzen näherte. Ich erhielt dabei stets eine Erhöhung der Kraft um einen kleinen Bruchtheil, so von 349·5 auf 358·3 Cgr; nach Entfernung des Bolzens sank die Kraft sofort wieder (auf 344·0), liess sich aber durch Annäherung des Bolzens noch mehrmals in die Höhe treiben. Dies scheint zugleich zu beweisen, dass die Erhöhung der Kraft nicht auf Trockniss des Muskelumfanges beruhte, wodurch eine Nebenschliessung geschwächt, oder, wegen der Schrumpfung, der Umfang des Querschnittes vom Thonschild abgelöst und so die mittlere Negativität des Querschnittes erhöht würde. Auch gelang es nicht, Erhöhung der Kraft dadurch zu erzielen, dass ich dicht unter dem aufliegenden Muskel ein Gefäss mit Schwefelsäure anbrachte, obschon ein neben dem Muskel isolirt aufliegender Nerv den zugehörigen Gastroknemius tetanisirte. Es scheint danach in der That, als ob die Temperaturerhöhung einen Zuwachs der Kraft bedinge, doch ist nicht unbedenklich, dass bei diesem Verfahren die Temperatur nicht im ganzen Muskel und an beiden Berührungsstellen mit den Thonschildern gleichmässig erhöht wird, so dass die Möglichkeit einer Hydrothermowirkung nicht ausgeschlossen ist. Dass die Strahlung des Bolzens den Muskel bis zu einer gewissen Tiefe durchdringt, unterliegt keinem Zweifel, denn ein Thermometer, dessen Kugel ich mit den Bauchmuskeln eines Frosches umwickelt hatte, stieg beim Annähern des Bolzens von 12 auf 27° C. Unmittelbar darauf konnte ich diese Muskeln mittels des Zinkplatinbogens zucken lassen. Merkwürdig ist jedenfalls, wie verschieden hiernach beim Bestrahlen durch den Bolzen sich Muskeln und Nerven verhalten. Von den letzteren zeigte ich bekanntlich, dass sie dabei ihre Kraft vorübergehend ganz einbüssen, ja dass ihr Strom sich umkehrt. (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 550.)

[1] Ueber die Nachwirkung des Tetanus vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 151. — [S. auch unten Abh. XXV. XXVI. XXVII.]

das Steigen erklärt werden; allein es fehlt an Allem, um diese Vermuthung zu rechtfertigen.

Von einer, im Vergleich zu der im lebenden Thiere stattfindenden Athmung, unter dem Einfluss des atmosphärischen Sauerstoffes gesteigerten postmortalen Athmung kann nach den oben, S. 200. 201, angeführten neueren Untersuchungen die Rede nicht mehr sein.[1] Ohnehin sprach schon früher gegen jene Vorstellung, dass auch einzelne ausgeschnittene Muskeln, längere Zeit im feuchten Raume kalt aufbewahrt, die Erscheinung zeigen. Diese hätten hinlänglich Zeit gehabt, Sauerstoff physiologisch zu absorbiren, und doch steigt ihre elektromotorische Kraft, wenn man sie querdurchschnitten auf die Bäusche bringt. [277]

Dass und wie die Austrocknung des Muskelumfanges eine Erhöhung der Kraft bedingen könne, ist schon so eben, in der Anmerkung 2. auf S. 202, angedeutet worden. Es ist fraglich, ob es sich mit dieser Erklärung vertragen würde, dass der Längsschnittsstrom nicht selten steigt, wo der Strom vom Längs- zum Querschnitt sinkt. Die Erörterung hierüber durchzuführen, möchte nicht lohnen; denn einmal ist es uns (s. oben ebendas.) nicht gelungen, durch künstlich beförderte Trockniss eine Erhöhung der Kraft zu bewirken, für's zweite wird das Steigen der Kraft auch im feuchten Raume beobachtet, wo keine Trockniss stattfindet.

Dagegen scheint nunmehr folgender Umstand eher zur Erklärung der räthselhaften Erscheinung geeignet. Am Querschnitt stirbt bekanntlich eine mehr oder minder dicke Schicht bald ab, und wird dabei sauer. Um den Einfluss zu prüfen, den diese Säurung möglicherweise in elektromotorischer Beziehung ausübt, maass ich zuerst die Kraft eines wie gewöhnlich auf die Thonschilder gebrachten M. gracilis oder semimembranosus, bestrich dann den Querschnitt mit verdünnter Milchsäure, oder brachte ein damit getränktes Fliesspapierscheibchen zwischen den Querschnitt und das entsprechende Thonschild, und maass dann von Neuem die Kraft. Es zeigte sich regelmässig eine nicht unerhebliche Erhöhung der Kraft,[2] so dass die natürliche [278] Säurung des absterbenden Quer-

---

[1] Vergl. indess Ranke a. a. O.

[2] Ich habe noch mit anderen Flüssigkeiten als mit Milchsäure ähnliche Versuche angestellt. Essigsäure wirkte wie Milchsäure. Schwefel- ($SO_4H:HO::1:3$), Salpeter-, Chlorwasserstoff-, Phosphorsäure wirkten minder stark, oft ging der Erhöhung der Wirkung eine Verminderung vorauf, und einigemale erfolgte nur eine solche. Namentlich war dies der Fall, wenn der Querschnitt mit den Flüssigkeiten benetzt, anstatt dass ein damit getränktes Fliesspapierscheibchen zwischen Querschnitt und Thonschild gebracht wurde. Diese Erscheinung erklärt sich dadurch, dass die im Vergleich zur Milch- und Essigsäure besser leitenden Säuren, indem sie die Grenze vom Quer- zum Längsschnitt überschreiten, eine schwächende Neben-

schnittes unstreitig einer elektromotorischen Wirkung fähig ist, wie wir sie brauchen, um das Steigen der Kraft zu erklären. Zwischen einem alten und einem frischen Querschnitt findet man, wie ich früher zeigte,[1] allerdings keinen beständigen elektromotorischen Unterschied. Diesem Einwande liesse sich indess mit der Bemerkung begegnen, dass, da zwischen zwei Querschnitten keine Kraft von beständiger Grösse und Richtung herrscht, unser jetziger Versuch vielleicht geeigneter als der damalige ist, um die elektromotorische Wirkung der Säurung wahrzunehmen; wonach die Bedeutung des letzteren im Grunde nur wäre, dass der durch den Altersunterschied der Querschnitte gesetzte elektromotorische Unterschied sich inmitten der unregelmässigen Wirkungen zweier Querschnitte überhaupt nicht geltend machen kann.

Verständlich würde so, dass an älteren Präparaten die Erscheinung stärker hervortritt, als an frischen; denn der Querschnitt absterbender Muskeln wird sich schneller säuern, als der [279] eben erst des Kreislaufes beraubter. Freilich scheint auch diese Erklärung des Steigens der Kraft nicht darauf zu passen, dass das Steigen noch mit Querschnitten vorkommt, die schon seit mehreren Stunden hergestellt sind; ja dass es mit dem nämlichen Querschnitt mehrmals nach einander beobachtet werden kann. Die Folge wird aber lehren, dass trotzdem die fragliche Vermuthung das Rechte trifft. Um zu dieser Einsicht zu gelangen, müssen wir jetzt noch von einer anderen Erscheinung Kenntniss nehmen, welche der zeitliche Verlauf des Muskelstromes bietet, und welche aufzufassen auch erst mit den jetzigen Hülfsmitteln möglich war.

---

leitung herstellen (vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 57. 78). Zwischen Längsschnitt und Thonschild gebracht, erzeugten alle Säuren ausnahmslos eine ansehnliche Schwächung der Kraft, indem hier zur Bildung einer Nebenschliessung die Gelegenheit fehlt. Sehr befremdend ist nun aber, dass, als ich die nämlichen Versuche an Quer- und Längsschnitt mit alkalischen Flüssigkeiten — mit Kalihydratlösung, mit Ammoniakflüssigkeit, mit doppeltkohlensaurer Natronlösung (bei 19° C. gesättigt sowohl wie mit dem gleichen Volum Wassers verdünnt) — wiederholte, ich genau dasselbe zu sehen bekam, wie mit den Säuren. Die umgekehrte Wirkung dagegen, Schwächung vom Querschnitt, Verstärkung vom Längsschnitt aus, erfolgte merkwürdigerweise, als ich das Fliesspapierscheibchen mit destillirtem Wasser tränkte, von dessen ausgezeichneter Rolle in den Flüssigkeitsketten überhaupt ich noch an einer anderen Stelle handeln werde. [S. die folgende Abh. XXI. §. VII.]

[1] S. oben S. 170. 171.

### §. VII. Abgesehen von der in der ersten Zeit nach dem Auflegen öfter vorkommenden scheinbaren Zunahme der Muskelstromkraft, wächst letztere an nicht enthäuteten Präparaten in der ersten Zeit nach der Zurichtung.

Als ich behufs der in den Tabellen zur Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.' verzeichneten Versuche an vielen Fröschen die obere und untere künstliche Stromkraft an den vier regelmässigen Oberschenkelmuskeln erst auf der einen Seite A, dann auf der anderen B maass, bemerkte ich bald, dass die Kräfte auf Seite B die auf Seite A sehr regelmässig übertrafen. Man sieht dies deutlich in den Tabellen IX und X, wo das Mittel aller 80 unter A stehenden Zahlen 250, das der unter B stehenden 270 beträgt, welche Zahlen zu einander sich verhalten wie 100:108. Allein bei seitdem zur Prüfung dieses Umstandes besonders angestellten Versuchen erhielt ich ein noch viel auffallenderes Ergebniss zu Gunsten des zweiten Beines. Das Mittel der 40 Zahlen für die erstgeprüfte Hälfte von 5 Fröschen fand ich zu 332, das für die zweite Hälfte zu 408; die Muskeln der zweiten Seite wirkten also stärker als die der ersten im Verhältniss von fast 123:100.

Die Frösche wurden dabei in gewohnter Art dicht unter dem Kreuzbein querdurchschnitten; ihre Beine blieben mit der Haut überzogen liegen, während erst die Muskeln der [280] einen, dann die der anderen Seite nach einander in der Ordnung zugerichtet und geprüft wurden, welche die anatomischen Verhältnisse empfehlen: zuerst der Sartorius, dann der Cutaneus, dann der Gracilis, endlich der Semimembranosus.

Der erste Gedanke, auf den man hier kommt, ist, dass die Maasskette an Kraft verloren habe. Allein die in meinen Versuchen mittels einer geeigneten Schaltung stets leicht ausführbare Controle verrieth von einer solchen Unbeständigkeit Nichts.[1]

Abgesehen davon beweist die mit der elektromotorischen Kraft der Muskeln in etwa gleichem Verhältniss gewachsene Stromstärke die Unrichtigkeit jener Vermuthung. Die folgende Tabelle lehrt dies z. B., wo-

---

[1] In dieser Schaltung befindet sich ausser einer Rolle von mehreren tausend Windungen feinen Kupferdrahtes, welche im Geleise der Bussole aufgestellt deren Spiegel ablenkt, noch die volle Länge eines Rheostates von Siemens und Halske, entsprechend etwa 5540 Quecksilbereinheiten, ein Widerstand, gegen den der Widerstand der Grove'schen Kette verschwindet. Die Beständigkeit der durch die Maasskette erzeugten Ablenkung der Bussole verbürgt also unmittelbar die Beständigkeit der elektromotorischen Kraft.

rin die Vorzeichen dieselbe Bedeutung haben wie früher,[1] und die Ordnungszahlen die Reihenfolge lehren, in der die Muskeln geprüft wurden.

| | | A Stromstärke | A Kraft | | B Stromstärke | B Kraft |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C | 2) | − 28 | 103 | 6) | 40 | 121 |
| | | + 44 | 118 | | 109 | 233 |
| S | 1) | − 163 | 277 | 5) | 311 | 518 |
| | | + 155 | 268 | | 272 | 523 |
| G | 3) | − 358 | 480 | 7) | 375 | 526 |
| | | + 325 | 442 | | 370 | 485 |
| Sm | 4) | − 368 | 492 | 8) | 422 | 583 |
| | | + 286 | 430 | | 344 | 509 |
| Mittel | | 216 | 326 | | 280 | 437 |

Die Zeit, welche zwischen der Prüfung zweier gleichnamigen Muskeln bei einem solchen Versuche verstreicht, beläuft [281] sich auf 15—25 Minuten. Man kann aber auch zwischen der Prüfung des Semimembranosus der ersten, und des Cutaneus oder Sartorius der zweiten Seite eine kürzere oder längere Frist, je nach der Temperatur, verstreichen lassen, und immer giebt sich noch eine Ueberlegenheit der zweiten Seite zu erkennen. Zuletzt kommt ein Punkt, wo der Erfolg unsicher wird, und bei noch längerem Zwischenraum kehrt sich der Unterschied um, jetzt erscheint die zweite Seite als die schwächere. Es wurden z. B. die vier Muskeln der einen Seite A von 7 Fröschen geprüft. Die Frösche wurden 20—25$^1/_2$ Stunden in niederer Temperatur aufbewahrt, und nun die Prüfung auf der anderen Seite vorgenommen. Die Mittelzahlen aus den 56 Messungen auf jeder Seite waren für

| A | B |
|---|---|
| 283 | 221; |

und in der That man würde ja, bei immer längerer Frist zwischen beiden Prüfungen, auf der zweiten Seite, wenn sie ganz abgestorben wäre, zuletzt die Kraft Null erhalten. Aus Gründen, welche gleich erhellen werden, verwendete ich bei diesen Versuchen grosse Sorgfalt darauf, dass die Lymphsäcke der Seite B bei der Zurichtung der Seite A nicht oder nicht weiter als unvermeidlich geöffnet wurden.

Die Ueberlegenheit der zuletzt geprüften Hälfte wird nämlich vermisst, wenn man, anstatt die Beine mit der Haut bekleidet liegen zu lassen, und die einzelnen Muskeln davon nur in dem Maasse zu trennen,

---

[1] S. oben S. 95.

wie man sie prüft, erst die Muskeln der Seite B einzeln herauspräparirt, und sie im feuchten Raum oder unter 0·5 procentiger Kochsalzlösung aufbewahrt, während man die Muskeln der Seite A prüft. Mit feuchter Luft erhielt ich bei diesem Verfahren folgende Mittelzahlen aus den 24 Messungen an den vier Muskeln jeder Seite bei 3 Fröschen:

| A | B |
|---|---|
| 355 | 261, |

mit verdünnter Salzlösung aus den 16 Messungen bei 2 Fröschen diese:

| A | B |
|---|---|
| 351 | 334. |

[282] Dabei schien das Unterliegen der Seite B vorzüglich durch die dünnen Muskeln, den Cutaneus und den Sartorius, bedingt.

Ebenso ist der Erfolg, wenn der Frosch sogleich auf beiden Seiten enthäutet wird, und, nach Prüfung der ersten Seite, so liegen bleibt, bis die zweite Seite geprüft wird. Mittel aus 16 Versuchen jederseits:

| A | B |
|---|---|
| 288 | 222. |

Versuche der Art dienen beiläufig zur Verstärkung des Beweises, wenn eine solche nöthig wäre, dass der Erfolg am nicht enthäuteten Frosch keiner Unbeständigkeit der Maasskette zuzuschreiben sei.

Es scheint hiernach, dass, wenn der Frosch unter dem Kreuzbein querdurchschnitten und mit der Haut bedeckt sich überlassen wird, die elektromotorische Kraft zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt der Oberschenkelmuskeln zuerst wächst, ein Maximum erreicht, und dann erst abnimmt.

Die Ueberlegenheit der Seite B über die Seite A würde daher rühren, dass letzterer nicht Zeit blieb, ihre volle Kraft zu erlangen. Das anfängliche Wachsen der Kraft kann aber verdeckt werden durch ihr schnelleres Sinken, welches dem Entblössen der Muskeln folgt; daher Versuche, in denen die Seite B unterliegt, nur dann beweiskräftig sind, wenn die obenerwähnte Rücksicht genommen wird, die Lymphsäcke der zweiten Seite geschlossen zu lassen.

Ist diese Anschauung richtig, so muss das Bein B das Uebergewicht haben, so lange der Versuch (ohne grösseren Zeitraum zwischen dem letzten Muskel der Seite A und dem ersten der Seite B) in der Periode der steigenden Kraft angestellt wird; der Unterschied der beiden Beine muss sich verwischen in der Gegend des Maximums; über dieses hinaus aber muss er, wenn er in merklicher Grösse wiederkehrt, was nicht nöthig ist (s. unten S. 216), sein Zeichen umkehren, d. h. nun muss das Bein A das Uebergewicht erhalten.

Merkwürdigerweise nun wollte mir der Nachweis dieses scheinbar so

bündig erschlossenen Verhaltens nicht glücken. Auch wenn ich die Frösche 48 Stunden liegen liess, erhielt [283] ich noch stets ein Uebergewicht der zweiten Seite. Zwar blieb es kleiner, als an den frischen Thieren, es schien aber sonderbarerweise mit dem Alter der Präparate eher zu- als abzunehmen.

$5^h\,25'$—$6^h\,25'$; Mittel aus 32 Versuchen (jederseits):

| A | B |
|---|---|
| 341 | 350 |
| (100·0) | (102·6) |

20—$24^h$; Mittel aus 32 Versuchen:

| A | B |
|---|---|
| 292 | 302 |
| (100·0) | (103·4) |

48—$50^h$; Mittel aus 64 Versuchen:

| | |
|---|---|
| 296 | 316 |
| (100·0) | (106·8). |

Die eingeklammerten Zahlen zeigen, wie ich nicht zu sagen brauche, das Verhältniss der Mittel an.

Allerdings kamen bei diesen Versuchen an 16 Fröschen Fälle vor, wo die Seite A im Mittel der acht dazu gehörigen Zahlen stärker war als die Seite B; allein es waren solcher Fälle im Ganzen nur 4, und die Ueberlegenheit war sehr gering.

Es lag also hier ein unbegreiflicher Widerspruch. Erfahrungsgemäss (s. oben S. 207) war, unter den Umständen der Versuche, nach 20 Stunden die Kraft etwa im Verhältniss von 100 : 125 kleiner, als zu Anfang. Das von uns vorausgesetzte Maximum war also in den nach 24 Stunden angestellten Versuchen zweifellos überschritten, wie dies auch nach nur 5—6 Stunden unstreitig bereits der Fall war. Es mussten folglich die Seiten A und B, bei nur etwa 20 Minuten Zwischenraum zwischen der Prüfung der gleichnamigen Muskeln, keinen Kraftunterschied erkennen lassen, oder wenn ja, im Mittel zahlreicher Versuche, ein solcher bemerkbar wurde, musste er zu Gunsten der erstgeprüften Seite stattfinden. Dies traf, wie gesagt, nicht zu, und selbst nach 48 Stunden noch überwogen scheinbar die Muskeln, welche etwa 20 Minuten länger mit der Haut bekleidet liegen geblieben waren. So paradox ist diese Thatsache, dass ich hoffen darf, dafür Entschuldigung zu finden, wenn ich, zu- [284] erst darauf stossend, in den, wie man sehen wird, folgenschweren Irrthum verfiel, was ich vor mir habe, sei nur das Werk des Zufalls, und bei noch grösserer Vervielfältigung der Versuche würde das erwartete Ergebniss nicht ausbleiben, die Leistungen der beiden Seiten würden sich bis zum Unmerklichen der Gleichheit nähern. Erst als ich später auch

noch nach jenen 128 Messungen den Ausschlag stets nach derselben Seite erfolgen sah, konnte ich mir nicht länger verhehlen, dass es für das Ueberwiegen der zweiten Seite einen von dem zeitlichen Verlauf der Muskelstromkraft unabhängigen Grund geben, mit anderen Worten, dass dies Ueberwiegen die Folge sein müsse einer in den Versuchsbedingungen selber wurzelnden Ursache, wodurch die nur gleich oder gar minder kräftigen Muskeln der zweiten Seite regelmässig als die stärkeren erschienen.

Bei fortgesetztem Nachdenken, und indem ich den hier vorliegenden Thatbestand mit dem am Ende des vorigen Paragraphen verglich, wurde ich zuletzt zu dem Schlusse getrieben: durch die Berührung des Thonschildes mit dem Querschnitt werde ersteres in der Art verunreinigt, nämlich mit Säure imprägnirt, dass die Muskelstromkraft dadurch grösser erscheine. Dass so das stete Ueberwiegen der zweitgeprüften Hälfte erklärt würde, ist deutlich; zugleich aber sieht man leicht, worauf wir unten noch zurückkommen werden, dass so auch für die Erklärung des Steigens der Kraft am aufliegenden Muskel die wesentliche Schwierigkeit wegfällt.

So schwer es mir geworden war, mich zu dieser Vorstellung führen zu lassen, so leicht fand ich es, deren Richtigkeit darzuthun.

Zuerst überzeugte ich mich, dass der von mir angewendete Thon, obschon mit den Händen geknetet, neutral reagirt, dass aber ein Thonschild, nachdem ein Muskelquerschnitt es kurze Zeit berührt hat, mit der Berührungsstelle auf blauem Lakmusgrunde wirklich einen rothen Fleck erzeugt. Nach längerem Aufliegen freilich reagirt, auch ohne Berührung eines Querschnittes, das Thonschild überall sauer von durchgedrungener schwefelsaurer Zinkoxydlösung; doch ist keine Möglichkeit, diese allgemein verbreitete und anfänglich sehr schwache Wir- [285] kung mit jener örtlichen und stets sogleich deutlich ausgeprägten zu verwechseln.

Demnächst versuchte ich, ob beim abwechselnden Anlegen des Querschnittes eines Muskels an eine alte und an eine neue Berührungsstelle regelmässige Kraftunterschiede zu Gunsten der ersteren Stelle bemerkbar würden. In der That ist dies der Fall, wenngleich die Schwankungen der Kraft, welche nach dem oben S. 194. 195 Gesagten jede Verrückung des Querschnittes am Thonschilde so leicht begleiten, den Versuch zu keinem sehr sicheren machen. Doch erhielt ich Reihen wie die folgenden, worin die Ordnungszahlen die Aufeinanderfolge der Prüfungen anzeigen.

I.

Nach 15 Minuten Aufliegen beträgt die Kraft eines Gracilis:

| an der ursprünglichen Stelle | an neuer Stelle A |
|---|---|
| 1) 491 | 2) 484 |
| 3) 490 | 4) 480 |
| 5) 485 | 6) 478 |
| 7) 479 | an neuer Stelle B |
| | 8) 460 |
| 9) 476 | 10) 479 |
| | an neuer Stelle C |
| | 11) 462 |
| Mittel 484 | 473 |

II.

Nach 15 Minuten Aufliegen beträgt die Kraft eines Semimembranosus:

| an der ursprünglichen Stelle | an neuer Stelle A |
|---|---|
| 1) 404 | 2) 384 |
| 3) 409 | 4) 387 |
| 5) 392 | 6) 398 |
| | an neuer Stelle B |
| | 7) 381 |
| 8) 382 | 9) 392 |
| | an neuer Stelle C |
| | 10) 379 |
| Mittel 397 | 386 |

[286] Ich stellte den Versuch auch so an, dass ich den Querschnittsbausch mit zwei Thonschildern versah, einem frischen und einem, welches längere Zeit mit Querscheiben von Froschmuskeln belegt gewesen war; abwechselnd mittels des einen und des anderen Schildes geschah die Ableitung. Diese Versuchsweise hatte, ich weiss nicht warum, minder guten Erfolg als die vorige.

Dagegen gelang es leicht, nachzuweisen, dass ein Muskel, dessen Querschnitt ein mit verdünnter Milchsäure bestrichenes Thonschild berührt, stärker elektromotorisch wirkt, als mit einem gewöhnlichen Thonschilde: ein Versuch, der sich ja nicht wesentlich von dem oben S. 204 beschriebenen unterscheidet, wo die Kraft eines Muskels durch Bestreichen seines Querschnittes mit Milchsäure oder durch ein zwischen Querschnitt und Thonschild gebrachtes, mit Säure getränktes Fliesspapierscheibchen erhöht erschien.

Das Wechseln der Stelle des Thonschildes, welche der Muskel mit

dem natürlichen Längsschnitt berührt, übt keinen irgend erheblichen oder regelmässigen Einfluss auf die Stromkraft aus.

Nach der Gesammtheit dieser Erfahrungen kann kein Zweifel daran sein, dass ein Muskel, mit künstlichem Querschnitt gegen ein Thonschild gelehnt, der Berührungsstelle die Eigenschaft ertheilt, dass derselbe oder ein frischer Muskel damit stärker wirkt als mit einem neuen Thonschilde, wie umgekehrt in den obigen Versuchen I und II die neuen Stellen durch nur wenige Berührungen des Querschnittes die Eigenschaft verlieren, dass die Kraft damit kleiner erscheint, als mit der ursprünglichen Stelle.

Das ist der Fehler, womit, wie oben S. 193 gesagt wurde, meine sämmtlichen bisherigen Versuche behaftet sind, so dass man z. B. daraus das Verhältniss der Kraft der vier regelmässigen Muskeln nicht entnehmen darf. Ja, da es (s. oben S. 206) durch anatomische Verhältnisse geboten ist, dass der Gracilis und Semimembranosus stets nach dem Cutaneus und Sartorius geprüft werden, so könnte man jetzt den Verdacht fassen, als sei die grössere elektromotorische Kraft der dickeren Muskeln [287] überhaupt eine Täuschung, hervorgebracht durch den Umstand, dass sie nach den dünneren Muskeln auf dasselbe Thonschild gelegt wurden. Doch ist dies schon an sich unwahrscheinlich, da der kleinere Querschnitt der dünneren Muskeln nicht eine für den grösseren Querschnitt der dickeren Muskeln ausreichende Stelle verunreinigen könnte. Auch würde jene Erklärung nicht darauf passen, dass, wenn man einen dünnen und einen dicken Muskel einander im nämlichen Kreise entgegensetzt, der dicke sich als der stärkere erweist. Ohnehin wäre noch zu untersuchen, ob auch bei Anwendung von Kochsalzbäuschen und Eiweisshäutchen zur Ableitung, durch die Verunreinigung der letzteren eine mit dem Muskel in gleichem Sinne wirksame Flüssigkeitskette entstehe. Wie dem auch sei, ich habe mich durch besonders darauf gerichtete Versuche davon überzeugt, dass unabhängig von der Entstehung einer solchen Kette bei unserer jetzigen Art der Ableitung, nämlich selbst wenn man jeden Muskel mit seinem Querschnitt eine neue Stelle berühren lässt, die Ueberlegenheit der dickeren Muskeln sich bewährt. Doch kommt es allerdings, wie mir hat scheinen wollen, dabei öfter als sonst vor, dass der Cutaneus eine grössere Kraft liefert als der Sartorius. Bei dem vergleichsweise kleinen Unterschiede des Querschnittes des Sartorius und Cutaneus, kann es leichter, als beim Vergleichen eines dieser Muskeln mit dem weit dickeren Gracilis oder Semimembranosus geschehen, dass eine zufällige Störung, denen die dünneren Muskeln ohnehin mehr ausgesetzt sind, dem kleineren Querschnitt den Sieg verschafft.

In der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.' finden sich Versuchsreihen,[1] worin Muskeln, verkürzt, nicht stets, wie sie sollten, eine kleinere, sondern häufig, und auch im Mittel, eine grössere Kraft lieferten, als vorher. Jetzt erscheint es möglich, dass dies die Folge der hier aufgedeckten Störung war, d. h. dass die scheinbar grössere Kraft von der Verunreinigung des Thonschildes herrührte; und ebenso ist anzunehmen, dass derselbe Umstand noch andere Zahlen jener [288] Abhandlung verfälscht habe, ohne dass ich indess einen Punkt ausser den beiden angegebenen wüsste, worin dies von Bedeutung würde.

Was das Wachsen der Kraft des mit Längs- und Querschnitt aufliegenden Muskels betrifft, das wir im vorigen Paragraphen betrachteten, so ist es nun also auch sichtlich hierauf zurückzuführen. Während der Querschnitt das Schild berührt, wird er sauer, seine Säure dringt in das Schild ein, und wenn nur die eigentliche Muskelstromkraft nicht zu schnell sinkt, welche am ausgeschnittenen Muskel stets sofort abnimmt, entsteht der Anschein eines Wachsens der Kraft. Es handelt sich dabei, wie wir jetzt sehen, nicht bloss um das Sauerwerden des Muskels, sondern auch um das des Schildes. So wird verständlich, was uns dort unklar blieb, dass mit dem nämlichen Querschnitt, dessen Säure nicht mehr zunehmen kann, mehrere Mal nach einander das Wachsen beobachtet wird, insofern dabei jedesmal eine neue Berührungsstelle zwischen Thon und Querschnitt in's Spiel kommt.

Es entsteht jetzt die Frage, welches der Sitz der zur eigentlichen Muskelstromkraft durch die Säurung des Thonschildes hinzutretenden Kraft sei. Es scheint in dieser Beziehung keine andere Annahme möglich als die, dass dieser Sitz wesentlich in der Dicke des Thonschildes an der Grenze des ungesäuerten und des gesäuerten Thones sei. Nur so wird es begreiflich, dass sowohl die Negativität eines ganz frischen Querschnittes wie die eines bereits gesäuerten mit dem gesäuerten Thonschilde grösser ausfällt, als mit dem nicht gesäuerten, und dass die Erhöhung der Kraft mit demselben gesäuerten Querschnitt jedesmal wieder beobachtet wird, dass dieser Querschnitt einer neuen Stelle des Thonschildes oder einem neuen Thonschild angelegt wird.

Um diesen Schluss auf die Probe zu stellen, verfuhr ich folgendermaassen. Ich bettete einen unversehrten Gracilis quer zwischen den Thonschildern, und trennte ihn von dem einen Thonschild durch ein Klümpchen von gewöhnlichem Thon, von dem anderen durch ein Klümpchen Thon, der mit verdünnter Milchsäure angeknetet war. Ich ver-

---

[1] S. oben S. 95; Tab. I.

sicherte mich zuerst, indem ich [289] auch an Stelle des letzteren Klümpchens eines von gewöhnlichem Thon brachte, dass der Muskel zwischen den beiden, durch die Klümpchen berührten Punkten in der Quere unwirksam war; oder wenn er es nicht war, compensirte ich den vorhandenen Unterschied. Es zeigte sich, dass mit dem sauren Thone stets eine Wirkung in dem erwarteten Sinne, d. h. vom sauren Thone durch den Muskel zum gewöhnlichen Thon, entstand. Ein Strom in diesem Sinne trat auch auf, wenn ich den Muskel durch ein Stück Sehne oder elastischen Gewebes vom Rind ersetzte, und nicht minder, wenn ich statt dessen ein Stück sauren Rindfleisches nahm.

Somit scheint sich unsere Vermuthung zu bestätigen. Bei dem Dunkel indess, worin das Wesen der Flüssigkeitsketten noch grösstentheils gehüllt ist, und der Beschränktheit der obigen Erfahrungen, hüten wir uns, die Sache bereits für ausgemacht zu halten. Wir begnügen uns damit, die wichtige Einsicht gewonnen zu haben, dass unter Umständen die Ableitung des Stromes vom künstlichen Querschnitt auch durch die scheinbar indifferentesten Stoffe zur Entstehung einer Flüssigkeitskette von merklicher Kraft Anlass giebt; und wir schreiten jetzt dazu, mit Hülfe dieser Ermittelungen den Widerspruch zu schlichten, vor dem wir oben S. 209 stehen geblieben waren.

Jetzt ist es klar, warum auch an den 5—50 Stunden alten Präparaten stets das zweitgeprüfte Bein als das stärkere erscheint. Es liegt daran, dass die Muskeln dieses Beines ganz natürlich mit ihrem Querschnitt gegen dieselbe Stelle desselben Thonschildes gelehnt wurden, die bereits zur Ableitung der Muskeln des ersten Beines gedient hatte; was nicht zu thun von vorn herein kein Grund vorlag, ja was sich empfahl, damit möglichst gleiche Bedingungen der Ableitung stattfänden. Sogar das Wachsen der Ueberlegenheit der zweiten Seite mit dem Alter der Präparate, insofern es nicht auf einem Zufall beruht, erklärt sich auf dieselbe Art wie das häufigere und stärkere Wachsen des Stromes des aufliegenden Muskels, wenn dieser einem absterbenden Präparat entnommen ist (s. oben S. 205).

Ist diese Erklärung richtig, so muss der Ueberlegenheit [290] des zweiten Beines dadurch ein Ende gemacht werden, dass vor dessen Prüfung das Thonschild erneuert wird, oder dass alle Muskeln beider Beine stets mit ihrem Querschnitt gegen neue Stellen der Thonschilder gelehnt werden. Dies ist wirklich der Fall, wie aus folgender Tabelle hervorgeht, deren vier senkrechte Spalten nachstehende Bedeutung haben.

Die erste Spalte (A) zeigt die Mittel aus den 8 Zahlen für die vier Muskeln des ersten Beines A von 10 Fröschen, nach 24—48 Stunden

für 4, und nach 48—51 Stunden für 6 Frösche, wie sie für jeden Frosch mit einem und demselben Thonschild gewonnen werden.

| No. | A | a | B b | c |
|---|---|---|---|---|
| | | Nach 24 – 28$^h$ | | |
| 1 | 231 | 223 | 247 | 239 |
| 2 | 270 | 295 | 308 | 306 |
| 3 | 321 | 244 | 264 | 238 |
| 4 | 252 | 285 | 283 | 285 |
| | | Nach 48 – 51$^h$ | | |
| 5 | 334 | 316 | 359 | |
| 6 | 301 | 282 | 297 | |
| 7 | 255 | 303 | 310 | |
| 8 | 313 | 304 | 323 | 307 |
| 9 | 270 | 268 | 277 | 263 |
| 10 | 284 | 311 | 317 | 308 |
| Mittel | 282·5 | 282·1 | 297·9 | |

Die zweite Spalte Ba zeigt die entsprechenden Zahlen für die vier Muskeln des zweiten Beines B, nach Erneuerung des Thonschildes.

Die dritte Spalte B b zeigt die entsprechenden Zahlen, welche erhalten wurden, indem die Muskeln des zweiten Beines, ganz wie es sonst geschah, auf dieselbe Stelle desselben Thonschildes gelegt wurden, die zur Ableitung der Muskeln des ersten Beines gedient hatte.

Die vierte Spalte B c zeigt die entsprechenden Zahlen, welche erhalten wurden, indem in mehreren Versuchen die Muskeln des zweiten Beines nochmals mittels einer ganz neuen Stelle abgeleitet wurden.

Die Mittelzahlen am Fusse der Spalten endlich sind gewonnen, indem in die Summe aller einzelnen Beobachtungen [291] mit ihrer Zahl dividirt wurde.[1] Die absoluten Grössen der Zahlen 1—4 sind aus Gründen, welche nicht hierhergehören, nicht mit denen der Zahlen 5—10 vergleichbar.

Die Betrachtung der zweiten Spalte lehrt, dass, während früher, als dasselbe Thonschild beibehalten wurde, nur 4 Mal auf 16 die zweite Seite unterlag (s. oben S. 209), sie jetzt, mit Wechsel des Schildes, 6 Mal auf 10 sich als die schwächere erweist. Die Mittel der ersten und zweiten Seite fallen so genau zusammen, dass der Unterschied verschwindet. Dies

[1] Diese war nicht genau 80, sondern nur 77, weil durch Tetanus drei Beobachtungen verloren gingen (s. oben S. 196). Deshalb findet man etwas andere Mittel als die angegebenen, wenn man in die Summe der Zahlen in einer der drei Spalten mit 10 dividirt, während sonst das so gefundene Mittel mit jenem zusammenfallen müsste.

ist indess, bei der im Vergleich zur Grösse der Schwankungen noch immer kleinen Zahl der Versuche, wohl nur ein Zufall, wie auch, dass der vorhandene kleine Unterschied zu Gunsten der ersten Seite stattfindet. Denn wenn auch nach so langer Zeit die Kraft noch rasch genug sänke, damit 20 Minuten einen merklichen Unterschied herbeiführten, so ist doch wenig wahrscheinlich, dass das Sinken in beiden Beinen stets mit so gleicher Schnelle geschehe, wie es nöthig wäre, damit immer das nur 20 Minuten ältere Präparat unterliege (vergl. oben S. 208).

Schon diese Wahrnehmung hätte genügt, um zu beweisen, dass das früher an den 48 Stunden alten Fröschen beobachtete Ueberwiegen des zweiten Beines auf dem Beibehalten desselben Thonschildes beruhte. Dieser Beweis gewinnt aber an Stärke durch die Zahlen der dritten Spalte, welche 9 Mal auf 10 die der zweiten, und 8 Mal auf 10 die der ersten Spalte, wie auch im Mittel beide um eine ansehnliche Grösse übertreffen. Man sieht also, dass bei Benutzung desselben Thonschildes der frühere Erfolg sofort wiederkehrt.

Um mich aber zu überzeugen, dass die höhere Zahl der Spalte B b nicht von einem Wachsen der Kraft, sondern wirklich von der Ableitung durch eine alte Stelle herrührte, dienten [292] die Versuche der vierten Spalte. 6 Mal auf 7 fallen die Zahlen darin wieder kleiner aus als die der dritten Spalte, wenn auch nur 3 Mal kleiner als die der ersten. Ein Mittel zu ziehen wäre hier sinnlos gewesen, da es mit den Mitteln der übrigen Spalten nicht vergleichbar gewesen wäre.

So war ich also das Paradoxon glücklich los geworden, welches meinen Fortschritt hemmte. Aber noch mehr, es knüpfte sich auch an dies Ergebniss die Hoffnung, das Wachsen der Muskelstromkraft im nicht enthäuteten Präparat überhaupt, und damit eine der dunkelsten Verwickelungen, worauf die Untersuchung der thierisch-elektrischen Ströme mich bisher geführt hatte, sich in eine Täuschung auflösen zu sehen. Möglicherweise beruhte auch an den frischen Präparaten die Ueberlegenheit des zweiten Beines nur darauf, dass stets dieselbe Stelle desselben Schildes zum Ableiten aller Muskeln beider Seiten diente. Zwar war dies wenig wahrscheinlich, weil sich im Mittel zahlreicher Versuche eine grössere Ueberlegenheit der zweiten über die erste Seite an den frischen Fröschen im Vergleich zu den mehrere Stunden alten ergiebt (vergl. oben S. 206. 209). Inzwischen musste der Versuch angestellt werden. 107 Messungen an jeder Seite von 14 frischgetödteten Fröschen[1] mit neuen Thonschildern für die zweite Seite lieferten die Mittel

---

[1] Fünf Versuche gingen durch Tetanus verloren (S. oben S. 196. 215 Anm.). Ich bemerke beiläufig, dass ich nicht versäumte, abwechselnd die rechte und die

| A | B |
|---|---|
| 344 | 372 |
| (100·0) | (108·1) |

[293] In 24 dieser Versuche wurde verfahren, wie oben mit den alten Präparaten, d. h. die Muskeln der zweiten Seite wurden, nachdem sie mit dem neuen Thonschild abgeleitet worden (B a), mit der Stelle des alten Thonschildes abgeleitet, die für die ersten Muskeln gedient hatte (B b), und dann nochmals mit einer ganz neuen Stelle geprüft (B c). Dies gab im Mittel

| A | B | | |
|---|---|---|---|
| | a | b | c |
| 353 | 368 | 387 | 374 |

Diese Versuche lassen keinen Zweifel daran, dass auch unabhängig von der durch die Verunreinigung des Thonschildes gesetzten elektromotorischen Kraft, die sich zur Muskelstromkraft hinzufügt, wie B b im Vergleich zu B a und B c zeigt, ein Wachsen der Kraft im nicht enthäuteten Präparate vor sich geht. Der Unterschied zu Gunsten der zweiten Seite beträgt jetzt nur noch etwa 8 pCt., statt, wie wir oben S. 206 ohne Thonschilderwechsel fanden, 23 pCt. Abgesehen davon, dass durch die Einschränkung der Erscheinung auf eine etwas geringere Grösse die Bedeutung des Problems, das sich uns darin darbietet, nicht wesentlich beeinträchtigt würde, werden wir gleich sehen, dass diese Art, die Grösse des Phänomens zu schätzen, eine irrige ist.

Wir wollen die durch die Untersuchungen dieses Paragraphen aus dem Gedränge zuerst damit vermischter experimenteller Nebenwirkungen ausgeschiedene Erscheinung fortan kurz das *postmortale Wachsen der Muskelstromkraft* nennen.

## §. VIII. Nähere Untersuchung des postmortalen Wachsens der Muskelstromkraft, seiner Bedingungen und seiner Ursache.

Leider bin ich bis jetzt nicht im Stande, über die Bedingungen unserer Erscheinung, geschweige über deren Ursache, so Ausführliches

linke Seite der Frösche zur ersten zu machen. Es war ja denkbar, wenn auch sehr unwahrscheinlich, dass zwischen den beiden Seiten eines Frosches ein beständiger Unterschied des elektromotorischen Vermögens obwalte; wie denn Hr. Jürgensen einen beständigen Unterschied in der Haltung oder Länge der herabhängenden Beine aufgehängter Frösche bemerkt haben will (Studien des physiologischen Instituts zu Breslau. Herausgegeben von Heidenhain. Leipzig 1861. S. 152. 155. — Vergl. freilich Cohnstein in der Medicinischen Central-Zeitung. 18. Dec. 1861. XXX. Jahrg. S. 801).

und Sicheres mitzutheilen, wie deren Bedeutung wohl erheischen würde. Viele hunderte von Versuchen in dieser Richtung, die Monate mühseliger Arbeit gekostet hatten, mussten verworfen werden, nachdem ich zu der Ein- [294] sicht gelangt war, dass durch die Verunreinigung des Thonschildes mit der Muskelsäure eine Kraft im Sinne der Muskelstromkraft entstehe, und dass so ein Wachsen der letzteren auch da vorgespiegelt werden könnte, wo die wirkliche Muskelstromkraft beständig bleibt oder sinkt. Alle solche Versuche nämlich, in denen ich ohne Thonschilderwechsel eine Ueberlegenheit der zweiten Seite über die erste beobachtet hatte, waren jetzt unbrauchbar; denn die Ueberlegenheit brauchte nicht davon herzurühren, dass unter den besonderen Umständen des Versuches die Muskelstromkraft wirklich wächst, sie rührte vielleicht ganz, wie zum Theil ja gewiss, von der Verunreinigung des Thonschildes her. So büsste ich schwer genug den Fehler, den ich beging (vergl. oben S. 209. 210), als ich die auch an tagealten Präparaten sich stets noch kundgebende Ueberlegenheit der zweiten Seite für ein Werk des Zufalls nahm, und vorläufig darüber zur Tagesordnung schritt, anstatt vor allen Dingen auf Lösung des Widerspruches bedacht zu sein, der sich mir warnend in den Weg stellte.

Die gegenwärtigen Versuche haben vor den übrigen Schwierigkeiten thierisch-elektrischer Versuche noch die unglückliche Eigenthümlichkeit voraus, dass man nur durch die statistische Methode, unter Benutzung grösserer Beobachtungsreihen, zu entscheidenden Ergebnissen gelangt.[1] Jeder einzelne noch so unbedeutende Schritt in der experimentellen Schlussfolge kostet immer mehrere Tage einer ganz mechanischen Arbeit. Dies beruht, wie oben S. 195. 196 dargelegt wurde, auf der Unmöglichkeit, zwei Muskelquerschnitte, oder auch denselben Querschnitt zweimal nacheinander, in genau gleicher Art abzuleiten. Es werden dadurch diese Versuche zu den zeitraubendsten und mühsamsten des Gebietes, und nachdem ich ihnen, unter Hintansetzung wichtiger Fragen, welche längst der Erledigung harren, schon eine ganz unverhältnissmässige Zeit geopfert hatte, musste ich mir die Unmöglichkeit eingestehen, die misslungene Untersuchung gegenwärtig von Neuem aufzunehmen und zu Ende zu führen. Das Folgende ist daher nur als ein Bruchstück anzusehen, aus

---

[1] [Es verdient bemerkt zu werden, dass die in dieser Abhandlung zuerst in Anwendung gebrachte statistische Methode bald darauf in H. Roeber's Händen sich zur Entscheidnng verwandter Fragen sehr nützlich erwies. Vergl. Archiv für Anatomie u. s. w. 1869. S. 440: „Ueber den Einfluss des Curara auf die elektromotorische Kraft der Muskeln und Nerven", und 1870. S. 615: „Ueber die Natur der negativen Nachwirkung des Tetanus auf die elektromotorische Kraft der Muskeln."]

dem die Richtung erhellt, in der sich die [295] Untersuchung, meines Erachtens, jetzt hier zu bewegen haben würde.

Die erste Frage, die sich zur Beantwortung aufdrängt, ist die nach der Dauer des Wachsens der Kraft, oder nach der Lage ihres Maximums in der Zeit. Eine etwas genauere Betrachtung der Zahlen unserer obigen Versuche an 14 Fröschen (s. oben S. 216. 217) erlaubt bereits eine Vermuthung hierüber. Zieht man nämlich die Mittel aus den 28 für jeden einzelnen Muskel erhaltenen Zahlen,[1] so ergiebt sich Folgendes:

| | A | B |
|---|---|---|
| C | 198·7 | 243·8 |
| | (100·0) | (122·7) |
| S | 275·6 | 294·5 |
| | (100·0) | (107·1) |
| G | 423·5 | 438·3 |
| | (100·0) | (103·5) |
| Sm | 454·2 | 454·5 |
| | (100·00) | (100·04) |

Man sieht, dass die Ueberlegenheit der zweiten Seite wesentlich durch die dünneren Muskeln zu Stande kommt, ja dass der Semimembranosus daran keinen merklichen Antheil hat. Dies scheint beim ersten Anblick zu lehren, dass das postmortale Wachsen der Kraft um so grösser sei, je dünner die Muskeln. Allein es ist noch eine andere Erklärung möglich, nämlich die, dass die dünnen Muskeln, aus anatomischen Gründen, früher als die dicken zur Untersuchung gelangen (s. oben S. 206. 212). Der Semimembranosus der ersten Seite kommt frühestens eine Viertelstunde nach der Zurichtung zur Prüfung. Möglicherweise ist alsdann das Wachsen der Kraft beendet, oder nahezu, so dass, bei der Langsamkeit, womit deren Abnahme geschieht, der eine Viertelstunde später zur Prüfung kommende zweite Semimembranosus dem ersten an Kraft gleicht. Allerdings fällt es hierbei auf, dass das Wachsthum der Kraft am Cutaneus das am Sartorius bedeutend übertrifft, obschon der [296] Cutaneus in etwa der Hälfte der Versuche erst nach dem Sartorius an die Reihe kam.

Dies kann ein Zufall sein, insofern unter den vier regelmässigen Muskeln der Cutaneus die grössten Schwankungen der Kraft bietet, und daher eine grössere Zahl von Beobachtungen dazu gehört, dass diese sich ausgleichen. Möglicherweise findet auch das Wachsen an den dünneren Muskeln wirklich in grösserem Maasse statt. Wie dem auch sei, um zu erfahren, ob die gleiche Kraft der beiden Semimembranosi bei der obigen

[1] Beim Cutaneus sind es nur 23, wegen der 5 durch Tetanus verlorenen Messungen.

Versuchsweise daher rühre, dass der der ersten Seite geprüft wurde, als das Wachsen bereits vollendet war, muss es genügen, den Versuch so zu leiten, dass unmittelbar nach der Zurichtung der erste, eine Viertelstunde bis 25 Minuten darauf der zweite Semimembranosus und der erste Sartorius, nach abermals derselben Frist der zweite Sartorius geprüft werden. Diese Muskeln eignen sich besonders für unseren Zweck, weil der den Sartorius enthaltende Lymphsack geschlossen bleiben kann, während man den Semimembranosus loslöst. 36 solcher Versuche an jedem der beiden Muskeln und an jeder Seite von 18 Fröschen lieferten im Mittel

| | A | B |
|---|---|---|
| S | 361·8 | 366·3 |
| | (100·0) | (101·3) |
| Sm | 433·5 | 444·6 |
| | (100·0) | (102·5) |

Wie man sieht, zeigt jetzt der Semimembranosus ein deutliches postmortales Wachsen der Kraft. Allein nicht nur ist dieses erheblich schwächer als das oben am Sartorius und Cutaneus bemerkte, sondern der Sartorius fährt auch unter den jetzigen Umständen fort, in geringem Grade postmortales Wachsen der Kraft zu zeigen. Wenn hier nicht noch eine Täuschung obwaltet, dadurch bedingt, dass unsere Mittelzahlen noch immer nicht hinlänglich zahlreichen Beobachtungen entnommen sind, so würde folgen, dass erstens das postmortale Wachsen der Kraft nach 20—25 Minuten noch nicht beendet ist, zweitens dass die dünneren Muskeln wirklich die Erscheinung in grösserem Maassstabe zeigen.

[297] Die geringere Kraft des Sartorius im Vergleich zu der des Semimembranosus in den letzten Versuchen, wo der Sartorius zuletzt geprüft wurde, verdient Beachtung, insofern man jetzt glauben könnte, die grössere Kraft der dickeren Muskeln sei uns durch das postmortale Wachsen vorgespiegelt worden, wozu man diesen Muskeln Zeit liesse, während man, wie es in der Regel geschieht, vor ihnen die dünneren Muskeln prüft.

Die Untersuchung über die Bedingungen und Ursache des Wachsens der Kraft nach der Zurichtung beginnt natürlich wieder mit der Frage, mit der wir oben S. 201 die der gegenwärtigen verwandte Erörterung eröffneten, ob es sich nicht dabei um einen Einfluss der Temperatur handele. Unter der freilich (s. das.) noch nicht gehörig bewiesenen Voraussetzung, dass die Kraft mit der Temperatur wachse, läge es nahe, sich zu denken, dass die Präparate sich während der ersten Zeit etwas erwärmten, und dass darauf die Kraftzunahme beruhte. Es wurde inzwischen nicht allein stets die Vorsicht beobachtet, die Frösche mindestens erst 24 Stunden in dem Zimmer zu halten, wo die Untersuchung

geschah; sondern ich habe mich auch mit Thermometern, welche in Zehntel Grade C. getheilt waren, unmittelbar überzeugt, dass vom Augenblick des Todes bis nach der Prüfung des letzten Muskels die Temperatur des Frosches, in den Lymphsäcken des Oberschenkels gemessen, nur um wenige Zehntel, und zwar bald im einen, bald im anderen Sinne schwankte.

Was den Muskeln, bei der bisher geübten Art der Zurichtung (s. oben S. 206), begegnet, ist nach unseren Kenntnissen folgendes. Sie werden des Kreislaufes, d. h. der Zu- und Abfuhr des Blutes, beraubt, das noch in ihnen enthaltene Blut kann aber durch Arterien und Venen so weit abfliessen, als die Capillarität gestattet; diese Entleerung wird durch die Zuckungen beim Durchschneiden der Nerven mehr oder weniger unterstützt. Der unmittelbare Einfluss der Durchschneidung der Nerven in der ersten Zeit kann höchstens dahin gehen, die Beugemuskeln der dauernden Innervation zu entziehen, die ihnen Einige zuschreiben; auch werden die vasomotorischen Nerven, deren Dasein in den vorderen Wurzeln Hr. Pflüger physiologisch er- [298] wiesen hat,[1] ihres Tonus beraubt, so dass die Oberfläche der Gefässe, soweit sie contractil sind, wächst, und ihre Wandung verdünnt wird.

Der erste Gedanke, der sich mir hier darbot, war nunmehr dieser.

Im Verfolg seiner Versuche über die chemische Ermüdung der Muskeln hat Hr. Joh. Ranke gefunden, dass frische und nicht weiter angestrengte Muskeln oft durch Auswaschen des Blutes mit passenden Flüssigkeiten — verdünnter Kochsalz-, Harnstoff- und Zuckerlösung — eine ansehnliche Steigerung ihrer ursprünglich geringen mechanischen und elektromotorischen Leistungsfähigkeit erfahren. Er experimentirte am Gastroknemius, dessen Strom er vom natürlichen Längs- und Querschnitt der Rückenfläche ableitete. Ich selber hatte früher schon einmal, wie Hr. Ranke in Erinnerung brachte, von den beiden im nämlichen Kreise mit natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt einander entgegenwirkenden Graciles desselben Frosches, deren einer mit Zuckerwasser ausgespritzt war, letzteren siegen sehen. Diese Erscheinungen sind, wie Hr. Ranke dargethan hat, nicht so zu erklären, wie ich die Möglichkeit davon angedeutet hatte,[2] nämlich als böten die Flüssigkeiten, durch die das Blut verdrängt wurde, dem Muskelstrom eine Nebenleitung von grösserem Widerstande dar, als das Blut. Auch geht bereits aus

---

[1] Allgemeine Medicinische Central-Zeitung. Berlin 1855. XXIV. Jahrgang. S. 537. 601. 1856. XXV. Jahrgang. S. 249.

[2] De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Berolini MDCCCLIX. p. 42; — s. oben S. 38.

Hrn. Ranke's Versuchen die Unmöglichkeit einer anderen Deutung hervor, auf die man jetzt hier verfallen könnte, dass durch das Entfernen des Blutes der Querschnitt minder alkalisch oder mehr sauer werde. Sondern es scheint das Ersetzen des Blutes durch eine andere unschädliche Flüssigkeit den Sinn zu haben, dass in dem Muskel enthaltene Erzeugnisse seines Stoffwechsels, welche dessen Fortgang hemmen, etwa wie die Asche die Verbrennung auf einem Roste, dadurch entfernt [299] werden. Im Einklang hiermit fand Hr. Ranke, ja dies ist die Wahrnehmung, die ihn auf die Spur der chemischen Ermüdung brachte, dass scheinbar erschöpfte Muskeln durch blosses Ausbluten ihre mechanische Leistungsfähigkeit wieder erhalten.[1] Das Ausbluten wirkt also auf die mechanische Leistungsfähigkeit in demselben Sinne, wie Auswaschen des Blutes mit einer unschädlichen Flüssigkeit; und, wenn auf alle diese Angaben bereits sicher zu bauen ist, dürfte es nicht zu kühn sein, weiter zu schliessen, dass gelegentlich durch das Ausbluten auch die elektromotorische Leistungsfähigkeit der Muskeln vermehrt werden könne.

Um zu ermitteln, ob dies die Ursache des postmortalen Wachsens der Kraft bei unserer bisherigen Versuchsweise sei, verfuhr ich so, dass ich vor der Zurichtung, die wie sonst geschah, den Frosch über den Oberschenkeln mittels eines Bindfadens zusammenschnürte, so dass, wenn er über dem Unterbande querdurchschnitten wurde, kein Blut ausfloss. Im Mittel von 48 Versuchen an jeder Seite von 6 Fröschen erhielt ich dergestalt, unter fortwährender Erneuerung der Ableitungsstelle für den Querschnitt,

| A | B |
|---|---|
| 321 | 362 |
| (100·0) | (112·8) |

und auch an jedem einzelnen Frosch übertraf das Mittel der acht Zahlen für die Seite B das der Zahlen für die Seite A, obschon sichtlich, bis die Präparation die Seite B erreichte, diese kein Blut verlor.

Die auf die Ranke'sche Lehre gegründete Erklärung der Erscheinung musste somit aufgegeben werden.

Ich versuchte nun, ob es vielleicht die Entziehung des arteriellen Blutes sei, welche das postmortale Wachsen der Kraft bedinge. War dies der Fall, so musste die Erscheinung auch dadurch herbeigeführt werden können, dass die Arterien unterbunden wurden. Anstatt also die Frösche unter dem Kreuz- [300] bein quer zu durchschneiden, unterband ich an den lebenden Fröschen die Aorta, und schnitt nacheinander

[1] Tetanus. Eine physiologische Studie u. s. w. Leipzig 1865. S. 420. 421. 438. 439. 442. 443.

die vier regelmässigen Muskeln erst auf der einen, dann auf der anderen Seite aus. Die Nerven blieben unversehrt, und bis zuletzt behielten die Frösche die Herrschaft über ihre Beine so vollständig, als es bei den fehlenden Muskeln und dem gehemmten Kreislauf möglich war. Dieser Versuch wurde 15 Mal wiederholt. 7 Messungen jederseits gingen durch Unfälle verloren. Das Mittel aus den 113 übrigen auf jeder Seite betrug

| A | B |
|---|---|
| 352 | 348 |
| (100·98) | (100·00) |

Das Unterbinden der Aorta schien also bei dieser Versuchsweise nicht gleich dem Durchschneiden der Arterien und Venen bei der ursprünglichen Zurichtung zu wirken, da im Mittel so zahlreicher Messungen nicht nur das Steigen der Kraft vermisst wurde, sondern sogar die erste Seite den Sieg davon trug.

Indess gab sich bei diesen Versuchen ein Umstand zu erkennen, der schwerlich bloss auf einem durch die Zahl der Beobachtungen noch unausgeglichenem Zufall beruhte, und das Ergebniss in wesentlich verschiedenem Licht erscheinen lässt. Es wurden die Versuche nämlich im December zuerst an Fröschen angestellt, die seit dem Herbst aufbewahrt waren, und die das Steigen der Kraft bei der gewöhnlichen Zurichtungsweise deutlich zeigten; in der That ich liess mit einem Versuche, in welchem die Aorta unterbunden wurde, meist einen solchen abwechseln, wobei auf die gewöhnliche Art verfahren wurde, und der zu der Reihe der 14 Versuche gehörte, über deren Ergebniss oben S. 216 berichtet wurde. Ausnahmslos nun hatte bei diesen Fröschen, sobald die Unterbindung der Aorta an die Stelle der gewöhnlichen Zurichtung gesetzt wurde, die erste Seite A die Oberhand über die zweite, so dass die Mittel aus den 48 gelungenen Messungen jederseits waren für

| A | B |
|---|---|
| 394 | 370 |
| (106·6) | (100·0). |

Als ich jedoch, wegen Erschöpfung dieses Vorrathes von [301] Fröschen, die Versuche an Thieren fortsetzte, welche im December frisch gefangen waren, erhielt ich nur an 2 Fröschen auf 8 ein Uebergewicht der ersten Seite im Mittel der acht Zahlen jeder Seite, und die Mittel aus den 63 gelungenen Messungen jederseits betrugen für

| A | B |
|---|---|
| 333 | 362 |
| (100·0) | (108·7). |

Es scheint also, dass das postmortale Wachsen der Kraft an gewisse Bedingungen von Seiten des Individuums geknüpft ist, welche von seiner

Lebensweise abhängen; und damit wird der Schwierigkeit der hier übrig bleibenden Ermittelungen die Krone aufgesetzt. Es war beiläufig diese neue Sippschaft Frösche dieselbe, an der die eben beschriebenen Versuche mit Massenligatur angestellt wurden; so dass auch das Ergebniss dieser dadurch in seiner Allgemeingültigkeit verdächtigt wird.

Hier ist der Ort zu bemerken, dass ich noch nicht einmal im Stande bin zu sagen, ob das postmortale Wachsen der Kraft bei unserer gewöhnlichen Versuchsweise auch an frischen Sommerfröschen vorkommt; da meine früheren Versuche, welche dies zu bejahen schienen, durch den im vorigen Paragraphen aufgedeckten Fehler entwerthet sind.

Unter der Voraussetzung, dass das Steigen der Kraft bei der Massenligatur stattfindet, bei der Aortenunterbindung nicht, wäre denkbar, dass der Unterschied des Erfolges in beiden Fällen daher rühre, dass in dem Versuch mit der Massenligatur nachträglich auch die Nerven zerschnitten wurden, während sie in dem Versuch mit der Aortenunterbindung dauernd den Verkehr mit dem Centralnervensystem vermittelten, so dass noch Zusammenziehungen der Muskeln stattfanden. Ich habe daher zwei Versuchsreihen begonnen, in deren einer ich die Massenligatur am lebenden Frosch mit Erhaltung der Nerven, in deren anderer aber ich die Aortenunterbindung mit Durchschneidung der Nerven vornehme. Die wenigen Versuche der Art, die ich bisher angestellt habe, erlauben noch kein Urtheil über den Einfluss, den die Nerven hier ausüben mögen.

Ich versuchte auch, ob an mit Curara vergifteten Fröschen [302] das Wachsen der Kraft sich zeige; kam aber nichts in's Klare, weil bei den Winterfröschen die Resorption so langsam geschieht, dass 20—25 Minuten verstrichen, bis starke Reizung der Nerven sicher keine Zuckung mehr auslöste.

Endlich habe ich bereits zu ermitteln versucht, ob sich etwas dem Wachsen der Kraft zwischen natürlichem Längsschnitt und künstlichem Querschnitt Aehnliches an den unverletzten Muskeln kundgebe. Ich brachte Gastroknemien und Tricipites, welche dem erst eben auf die gewöhnliche Art zugerichteten Thier entlehnt waren, mit ihrer oberen und unteren Sehne zwischen die Thonschilder und maass die Kraft des natürlichen Neigungsstromes des Achillesspiegels und des entsprechenden Sehnenspiegels des Unterschenkelstreckers.[1] 20—30 Minuten darauf verfuhr ich ebenso mit den Muskeln der anderen Seite, die bis dahin mit der Haut bedeckt geblieben waren. Der Versuch wurde 36 Mal angestellt, und es kamen alle möglichen Stufen der Parelektronomie vor; Muskeln,

---

[1] S. oben S. 131. 136.

welche —80 cgr, und solche, welche, ohne dass sie ein bekannter entwickelnder Einfluss getroffen hätte, gegen + 700 cgr gaben.

Die Kraft der Muskeln, wenn sie zwischen den Thonschildern ruhig liegen blieben, schien sich ihrem zeitlichen Verlaufe nach verschieden zu verhalten, je nachdem die Muskeln mehr oder weniger parelektronomisch waren. Bei stark parelektronomischen Gastroknemien sah ich sie minutenlang ganz beständig, während die Kraft der schwach parelektronomischen Muskeln ziemlich schnell wuchs. In einigen Fällen fand ich auch negativ wirksame Muskeln stärker negativ wirksam, wenn ich sie nach kürzerem oder längerem Aufenthalt im feuchten Raume zum zweiten Mal auflegte.

Was die verhältnissmässige Kraft der erst- und zweitgeprüften Muskeln betrifft, so zeigte sich 23 Mal auf 36 ein bedeutendes Uebergewicht der ersten Seite, wenn man dazu die Fälle rechnet, in denen die Wirkung des ersten Muskels positiv, die des zweiten negativ, und die, in denen die eine und die andere [303] Wirkung, die zweite aber stärker, negativ war. Solcher Fälle kamen 10 vor, während nur 4 Mal die erste Seite negativ, die zweite positiv war. Das Mittel aus allen 36 Versuchen, wobei die negativen Kräfte von den positiven abgezogen sind, war für

| A | B |
|---|---|
| 155 | 69 |

Es scheint kaum, als könne bei 36 Beobachtungen dies Ergebniss ganz ein Werk des Zufalls sein, wenn auch die Grösse des Unterschiedes sich im Mittel zahlreicherer Messungen geringer herausstellen dürfte. Auch hier habe ich nicht unterlassen, bald die rechte, bald die linke Seite zur ersten zu machen (vergl. oben S. 216. Anm. 1.). Danach würde also unter denselben Umständen, unter denen der künstliche Querschnitt postmortal negativer wird, der senkrechte natürliche Querschnitt positiver werden, denn dieser Veränderung entspricht die Abnahme des aufsteigenden, die Zunahme des absteigenden natürlichen Neigungsstromes, auf den sich unsere Beobachtungen beziehen; es würde die postmortale Erhöhung der Muskelstromkraft allein mit künstlichem Querschnitt wahrnehmbar sein.

## §. IX. Von der wahrscheinlichen Bedeutung des postmortalen Wachsens der Muskelstromkraft.

Soll schliesslich von der Bedeutung der neuen Erscheinung die Rede sein, so ist zunächst zu bemerken, dass postmortales Wachsen auch der mechanischen Leistung der Muskeln bereits beobachtet ist. Hr. Lud. Hermann spricht in seinen 'Untersuchungen über den Stoff-

wechsel der Muskeln u. s. w.' S. 50 von der Erregbarkeitserhöhung ausgeschnittener Muskeln als von etwas ganz Gewöhnlichem. Aus seinen ungedruckten Versuchsprotocollen, welche er auf meine Bitte so gütig war, in Bezug hierauf durchzusehen, liess sich entnehmen, dass dieselbe Erscheinung auch an mit Curara vergifteten Fröschen vorkomme. Entsprechenden Wahrnehmungen begegnet man in Hrn. Ranke's Versuchstabellen, und zwar zeigt sich darin nicht bloss ein Ansteigen der Erregbarkeit, sondern auch der Hubkraft der Muskeln, letzteres ge- [304] rade an Curarafröschen.[1] Freilich stimmen die Bedingungen, unter welchen bis jetzt die postmortale Erhöhung der mechanischen Leistung wahrgenommen wurde, nicht völlig mit denen überein, unter welchen wir die elektromotorische Leistung wachsen sahen. In Hrn. Hermann's Versuchen waren die Muskeln ausgeschnitten, und deren Stromkraft würde also im Sinken angetroffen worden sein. In Hrn. Ranke's Versuchen waren die Muskeln zwar mit der Haut bedeckt, aber die Nerven waren undurchschnitten, und die zweite, stärkere Zuckung oder die höhere Erregbarkeit wurde nach sehr viel kürzerer Zeit beobachtet, als wir verstreichen lassen, um die postmortale Steigerung der Stromkraft wahrzunehmen. Hrn. Ranke's Versuche beziehen sich dabei ausschliesslich auf den M. gastroknemius, an dem das Vorkommen der postmortalen Erhöhung der elektromotorischen Kraft im unversehrten Zustande nicht nur nicht beobachtet, sondern nach den vorliegenden Thatsachen eher zu bezweifeln ist. Damit es erlaubt sei, die postmortale Erhöhung der mechanischen mit der der elektromotorischen Leistung in Zusammenhang zu bringen, müssten beide unter einerlei Bedingungen wahrgenommen worden sein. Immerhin wird durch die Thatsache, dass es eine postmortale Erhöhung der mechanischen Leistung giebt, der postmortalen Erhöhung der elektromotorischen Kraft die gefährliche Spitze abgebrochen, die sie beim ersten Anblick wider die Bedeutung zu kehren scheint, welche wir den thierisch-elektrischen Erscheinungen zuzuschreiben gewohnt sind.

Inzwischen hat auch möglicherweise die postmortale Erhöhung der elektromotorischen Kraft mit der eigentlichen Muskelstromkraft, oder der Kraft der elektromotorischen Muskelmolekeln, Nichts zu schaffen. Vielleicht ist diese vom Augenblick der Zurichtung an im Sinken begriffen (abgesehen von einer mit der mechanischen Leistung parallelen positiven Schwankung), mit der Unterbrechung des Kreislaufes aber beginnt eine Störung des Stoffwechsels im Muskel, in Folge deren das Innere der [305] Primitivbündel, folglich jeder künstliche Querschnitt minder alka-

---

[1] A. a. O. S. 225. 3. (Curarafrosch) 352. I. 1. 2. 359. II. 1. 2. (Curarafrosch) 363. VI. VII. 1. 387. I.

lisch oder mehr sauer reagirt, so dass beim Ableiten des Stromes vom künstlichen Querschnitt zwischen diesem und dem Thon eine den Muskelstrom unterstützende Flüssigkeitskette gestärkt oder eine ihm entgegenwirkende Kette geschwächt wird; wobei der Längsschnitt in Berührung mit dem Thon ein unverändertes Kettenglied abgiebt. Die Summe der Wirkungen der Flüssigkeitskette und der eigentlichen Muskelstromkraft wächst so bis zu einem Maximum, von dem sie wieder herabsinkt, weil die eigentliche Muskelstromkraft zu sinken fortfährt, die Kraft der Kette aber eine beständige Grösse erreicht, oder deren Veränderung verhältnissmässig langsamer vor sich geht. An den von der Haut entblössten Muskeln erfolgt statt des Wachsens sofortiges Sinken der Gesammtkraft, weil das Sinken der eigentlichen Muskelkraft zu rasch geschieht.

Mit dieser Vorstellung würde es stimmen, dass bei Ableitung des Stromes vom natürlichen Querschnitt (am Gastroknemius) die postmortale Erhöhung der Kraft vermisst wird. Dass die Aortenunterbindung in unseren Versuchen oft nicht so wirkte, wie die gewöhnliche Zurichtung und die Massenligatur, erklärt sich vielleicht so, dass bei dem erhaltenen Zusammenhange der Muskeln mit dem Centralnervensystem durch die Nerven die Muskeln sich stark und viel zusammenzogen, so dass die eigentliche Muskelstromkraft schneller als sonst sank. Dagegen ist es mir allerdings nicht geglückt, einen Unterschied nachzuweisen zwischen der Reaction von Muskeln, die unmittelbar nach der gewöhnlichen Zurichtung ausgeschnitten wurden, und der von Muskeln der anderen Seite, welche eine Viertelstunde länger in der Haut verweilt hatten. Doch liegt die Rechtfertigung nahe, dass die elektromotorische Wirkung immer noch ein zarteres Reagens abgebe, als das empfindlichste Lakmuspapier oder die besten Liebreich'schen Täfelchen.

Das Ausbleiben der postmortalen Erhöhung der Muskelstromkraft, wie sie auch zu Stande komme, sobald die Muskeln von der Haut entblösst sind, ist an und für sich von Bedeutung. Dass die Entfernung der Muskeln aus ihrer natürlichen Umgebung in dem Maasse verderblich auf ihr elektromotorisches [306] Vermögen wirke, ist neu, aber zugleich in vollkommenem Einklange mit den oben S. 201 bereits erwähnten Ermittelungen des Hrn. Hermann über die Oberflächenzehrung der Muskeln. Damit stimmt noch insbesondere, dass es vorzüglich die dünneren Muskeln sind, durch welche an enthäuteten Präparaten die zweite Seite unterliegt (s. oben S. 208). Unsere Theorie der Ströme am Längs- und am Querschnitt, ihres sichtbaren Wachsens im aufliegenden Muskel, des Gesetzes der Spannweiten, der grösseren Kraft längerer und dickerer Muskeln, erhält durch diese Thatsachen eine erfahrungsmässige Grundlage. Es laden diese sodann zu grösserer Vorsicht ein, als sie bis jetzt

beobachtet worden ist, bei allen Arten von Versuchen am Muskel, wobei man fast ausnahmslos an enthäuteten, der Luft ausgesetzten Muskeln gearbeitet hat, ohne zu beachten, was erst jetzt völlig klar ward, dass solche Muskeln sich stets sogleich mit einer absterbenden Schicht bekleiden, die möglicherweise von erheblichem Einfluss auf die Ergebnisse ist. In vielen Fällen wird dies nicht zu ändern sein, und alsdann wird man sich damit begnügen müssen, den nun erkannten Fehler so gut wie möglich in Rechnung zu ziehen. Wo aber das Enthäuten der Muskeln vermieden werden kann, wird dies fortan stets geschehen müssen.

Unsere Erfahrungen in Verbindung mit den Hermann'schen sind endlich, wie mir scheint, auch geeignet, Licht auf den verderblichen Einfluss zu werfen, den die Berührung der Luft auf Wunden und eiternde Flächen übt, und somit auf die heilsame Wirkung luftabsperrender Salben und Pflaster, sowie auf den günstigen Erfolg subcutaner Operationen.[1]

## §. X. Fernere Bemerkungen über den Muskel- und Nervenstrom im nicht polarisirbaren Kreise.

Die Nerven habe ich auf ein postmortales Wachsen ihrer Kraft, wie es bei den Muskeln vorkommt, noch nicht untersucht.

Ist im Verlaufe der Zeit die Kraft des mit Längsschnitt und künstlichem Querschnitt aufliegenden Muskels tiefer gesunken, so gelingt es nicht, wie ich dies ehemals glaubte, durch An- [307] frischen des Querschnittes deren Hebung zu bewirken. Ich bin zu der Ueberzeugung gelangt, dass dies eine Täuschung war, erzeugt durch die Polarisation der Elektroden.[2] Ich finde jetzt, dass nach Anfrischen des Querschnittes der Strom zuweilen genau dieselbe Grösse zeigt wie vorher; andere Mal bemerkt man eine geringe Abnahme, noch andere Male eine geringe Zunahme. Allein diese Schwankungen sind nicht grösser als die oben S. 194 erwähnten, die sich beim blossen Abheben und Wiederauflegen ohne Erneuerung des Querschnittes kundgeben. So ist das Verhalten nicht allein mit Thonschildern, sondern auch mit Eiweisshäutchen, und

[1] [Ich brauche kaum zu bemerken, dass die grosse leitende Idee der heutigen Chirurgie, die desinficirende Behandlung der Wunden, zur Zeit, wo dies geschrieben wurde, noch nicht in dem Maasse Gemeingut geworden war, wie heute.]

[2] Ich habe dies schon vorläufig angezeigt in Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. VIII. 1862. S. 409. Anm. 1., und im Archiv für Anatomie u. s. w. 1863. S. 662; [— S. oben S. 147.] Hier finden sich die Stellen angeführt, wo ich jene unrichtige Lehre vortrug.

auch wenn man diese von den Zinkbäuschen der unpolarisirbaren Zuleitungsgefässe durch Kochsalz-Hülfsbäusche trennt; zum Beweise, dass meine früheren Erfolge nicht davon abhingen, dass ich mich anderer Stoffe zur Ableitung bediente, als jetzt, sondern von der Polarisirbarkeit der Vorrichtung.

Dies Ergebniss ist von Wichtigkeit, indem es die Dinge an dieser Stelle vereinfacht. Um die Hebung des Stromes durch das Anfrischen des Querschnittes zu erklären, habe ich voraussetzen müssen, dass eine am Querschnitt absterbende Schicht ihre Kräfte zum Theil umkehre, so dass sich gleichsam eine künstliche parelektronomische Schicht bilde.[1] Später habe ich dazu an das Wegfallen eines secundären Widerstandes in der entfernten Muskelquerscheibe gedacht; und jetzt würde man sich auch noch darauf berufen können, dass diese Scheibe innerlich polarisirt sein müsse, wenn nicht glücklicherweise alle diese Annahmen sich als unnöthig erwiesen. Zur Erklärung des kleinen positiven Ausschlages, den man manchmal beim Anätzen und Brennen des künstlichen Querschnittes eines mit asymmetrischen Längsschnittspunkten auf- [308] liegenden Muskels erhält, muss man aber jetzt zur Vorstellung zurückkehren, dass er von einer Annäherung des Querschnittes an den nächsten aufliegenden Punkt herrührt.[2]

Auch bei den Nerven findet keine Hebung der gesunkenen Stromkraft durch Anfrischen des Querschnittes statt.

Ueber die im weiteren Verlauf eintretende Abnahme der elektromotorischen Kraft ausgeschnittener und auf die Multiplicatorenden gebrachter Muskeln hat schon vor Jahren Hr. Jules Regnauld Messungen mitgetheilt. Er bestimmte die Zeiten, welche verflossen, während die Kraft der mit Kniestumpf und Querschnitt aufgelegten unteren Oberschenkelhälfte vom Frosch (Élément Matteucci) um eine seiner thermoëlektrischen Einheiten (Wismuth und Kupfer bei 0° und 100°) sank, und sah diese Kraft von 9—10 Einheiten binnen 31 Minuten auf 4—3, binnen 73 Minuten (im Ganzen) uuf 3—2, binnen 193 Minuten auf 1 Einheit und darunter, fallen; zuerst also schneller, dann immer langsamer abnehmen. Eine ähnliche Reihe wurde mit dem Soleus des Kaninchens angestellt, wobei die Art der Ableitung sich nicht angegeben findet. Das Sinken geschah daran, früheren Erfahrungen gemäss, noch schneller als am Froschpräparat.[3]

Es ist meine Absicht nicht, hier auf eine erneute, gründliche Unter-

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 113 ff.

[2] Ebendas. S. 77 ff.

[3] Comptes rendus etc. 15 Mai 1854. t. XXXVIII. p. 890; — Archives des Sciences physiques et naturelles etc. T. XXVII. p. 47.

suchung des zeitlichen Verlaufes der thierisch-elektrischen Ströme einzugehen, wie die jetzigen Hülfsmittel sie gestatten, mir jedoch der Mangel an zusammenhängender Arbeitszeit, welche dazu das erste Erforderniss ist, sie untersagen würde. Ich will diesen Punkt nur so weit berühren als nöthig, um das Bild der thierisch-elektrischen Ströme bei der jetzigen Versuchsart zu vervollständigen. In diesem Sinne bemerke ich, dass Hrn. Regnauld's Angaben eine übertriebene Vorstellung von der Vergänglichkeit des Muskelstromes erwecken, insofern bei ihm die Kraft ungleich schneller sank, als dies meinen Erfahrungen nach der Fall zu sein pflegt. Obschon nämlich nicht [309] in der Lage, eine vollständige Versuchsreihe über den zeitlichen Verlauf der Muskelstromkraft mitzutheilen, besitze ich doch den Anfang einer solchen in den oben S. 197. 198 erwähnten Messungen an Sartorien und Graciles, wobei die Kraft und die Stromstärke eine Stunde lang alle fünf Minuten abgelesen wurden. Es ergiebt sich daraus, dass bei meiner Art der Behandlung die Kraft eines einzelnen querdurchschnittenen Oberschenkelmuskels vom Frosch im Mittel aus 6 Beobachtungen binnen 30 Minuten erst etwa auf 0·75, binnen 60 Minuten auf 0·59 ihres ursprünglichen Werthes sinkt. Noch nach 120 Minuten betrug im Mittel aus 2 Beobachtungen am Gracilis die Kraft 0·38 der ursprünglichen, d. h. sie war verhältnissmässig fast noch so gross wie Hr. Regnauld sie nach 31 Minuten fand.

Ueber den Grund dieses Unterschiedes weiss ich nichts Bestimmtes zu sagen. Meine Versuche sind im December, an Winterfröschen und im geheizten Zimmer angestellt; Hr. Regnauld sagt nichts über die zur Zeit der seinigen herrschende Temperatur. Aus seinen Mittheilungen erhellt auch nicht, ob er die Muskeln gegen Trockniss, und ob und wie er sie gegen Berührung der Zinklösung geschützt habe. Dass die Erhöhung der Kraft durch Säurung des Thonschildes am Querschnitt (s. oben S. 212) in meinen Versuchen eine grössere Beständigkeit vorgespiegelt habe, ist kaum denkbar. Wohl aber mögen die in der Mitte ihrer Länge querdurchschnittenen Oberschenkelmuskeln des von Hrn. Regnauld angewendeten Präparates ihrer Kürze halber schneller abgestorben sein. Was aber unstreitig die Hauptsache war, es entwickelte sich in dem Sehnenspiegel des Triceps femoris eine elektromotorische Gegenkraft durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht; wie man dies sieht, wenn man die untere Hälfte eines Gastroknemius einerseits mit künstlichem Querschnitt, andererseits mit dem Achillesspiegel auf nackte oder mit Eiweisshäutchen bekleidete Bäusche bringt.[1]

Beobachtet man, bei Gegenwart eines Muskels im Kreise, Strom-

---

[1] S. oben S. 147.

stärke und Kraft, und dividirt man mit der Zahl für [310] erstere in die für letztere, so erhält man ein relatives Maass des Gesammtwiderstandes des Kreises. Indem ich diese Berechnung mit den Zahlen der oben S. 197. 198 erwähnten Beobachtungsreihen vornahm, fand ich, dass der Gesammtwiderstand, gewisser Schwankungen ungeachtet, im Allgemeinen mit wachsender Versuchsdauer abnahm, so dass er bei Anwendung des Sartorius nach einer Stunde nur noch etwa 0·9 seines Anfangswerthes betrug. In Folge davon fiel in jenen Reihen, wenn die Kraft, wie wir jetzt wissen, durch Säurung des Thonschildes am Querschnitt anfänglich stieg, das Maximum der Stärke oft nicht zusammen mit dem der Kraft, sondern meist trat jenes etwas später ein als dieses.

Einer Erwärmung des Muskels und der zur Ableitung dienenden feuchten Leiter kann diese Abnahme des Widerstandes schwerlich zugeschrieben werden. Sie kann dagegen herrühren von dem Eindringen der Zinklösung in den Thon, und von der Säurung des Muskelquerschnittes. Diese kann in doppelter Weise dazu beitragen, erstens insofern der Widerstand der abgestorbenen Schicht am Querschnitt,[1] zweitens insofern der Widerstand des den Querschnitt berührenden Thonschildes dadurch vermindert wird. Es wäre übrigens auch möglich, dass der Widerstand des ganzen Muskels eine allmähliche Verminderung erführe, als Anfang der mit seinem Tode verknüpften bedeutenden Herabsetzung.[2]

---

[1] Nach Hrn. Ranke beträgt der eigenthümliche Widerstand des todtenstarren Muskels nur noch ein Drittel des Widerstandes des frischen Muskels. (Der galvanische Leitungswiderstand des lebenden Muskels. Geschrieben pro facultate legendi etc. Ansbach 1862. S. 32 ff. 55; — Tetanus u. s. w. S. 35.).

[2] [Die hier aus den oben S. 218. 219 angegebenen Gründen abgebrochene Untersuchung wieder aufzunehmen fand ich noch nicht Zeit. — Hr. Roeber überzeugte sich, wie er mir sagte, vom postmortalen Wachsen der Stromkraft auch an Sommerfröschen (S. oben S. 224). — Die S. 225 am Gastroknemius und Triceps angestellten Versuche sind mit Rücksicht auf die seitdem erkannten verwickelten Bedingungen der Stromableitung dieser Muskeln am sehnigen Ende regelmässiger Muskeln zu wiederholen (Vergl. unten Abh. XXIV. §. VIII—X). — In Betreff der Versuche mit Massenligatur und Aortenunterbindung endlich ist Roeber's Untersuchung über die Zunahme der Muskelstromkraft in hyperämischen Zuständen nachzusehen (Archiv für Anatomie u. s. w. 1869. S. 440.)

---

## XXI.

# Ueber die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln.[1]

(Hierzu Fig. 1—7 auf Taf. III.)

### §. I. Einleitung.

Wenn in den thierisch-elektrischen Versuchen, bis auf die neueste Zeit, fast stets nur die Rede von Stromstärken war, so lag dies doch nur daran, dass man in solchen Versuchen die elektromotorische Kraft selber nicht gehörig zu messen verstand, während man andererseits annahm, dass die Stromstärken ein hinlänglich treues Bild der elektromotorischen Kräfte gäben. Wenige Fälle ausgenommen, waren es aber in der That letztere, um deren Kenntniss es sich handelte, und der Widerstand der thierischen Theile hatte im Allgemeinen nur die Bedeutung, durch seine wandelbare und meist schlecht vergleichbare Grösse den Schluss aus der Stromstärke auf die elektromotorische Kraft zu erschweren. Es ist daher als einer der bedeutendsten Fortschritte auf diesem Gebiet anzusehen, dass gegenwärtig, durch das von mir angegebene Verfahren, die unmittelbare Messung der elektromotorischen Kraft der Nerven und Muskeln ebenso scharf und zugleich bequemer ausführbar ist, als nur bisher die der Kraft irgend einer Hydro- oder Thermokette. Ich habe bereits in meinen Abhandlungen 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes, mit besonderer Be- [418] rücksichtigung des M. gastroknemius vom Frosch' und 'Ueber die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes bei Anwendung der neuen Methoden zu deren Ableitung'[2] gezeigt, welchen Vortheil dies Verfahren gewähre, wenn es bloss darauf ankommt, die elektromotorische Thätigkeit eines und desselben Muskels unter verschiedenen Umständen, oder die

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1867. S. 417.

[2] S. oben S. 163—182; — S. 188—231.

Kräfte verschiedener Muskeln untereinander, zu vergleichen. Allein dasselbe Verfahren kann auch zur Beantwortung einer anderen wichtigen Frage dienen, nämlich der nach der absoluten Grösse der elektromotorischen Kraft der Nerven und Muskeln. Darunter verstehe ich, wie ich kaum zu sagen brauche, nicht etwa diese Kraft, gemessen nach absolutem WEBER'schen Maasse, sondern nur dieselbe ausgedrückt in einer bekannten Einheit, z. B. als Bruchtheil der Kraft einer DANIELL-schen Kette. Meines Wissens sind, zur Erledigung dieser Frage, erst zweimal Versuche angestellt worden.

Hr. JULES REGNAULD hat darauf das von ihm empfohlene Verfahren zur Messung elektromotorischer Kräfte angewendet, welches im Wesentlichen darin besteht, die Kette, deren Kraft zu bestimmen ist, durch eine passende Anzahl hinreichend schwacher thermoëlektrischer Elemente zu compensiren. Die REGNAULD'sche thermoëlektrische Krafteinheit ist bekanntlich die Kraft einer Wismuthkupferkette bei $0^0$ und $100^0$ ihrer Löthstellen, und $= {}^1/_{179}$ der Kraft einer DANIELL'schen Kette.[1] Hr. REGNAULD giebt die elektromotorische Kraft des Gastroknemius und des Sartorius vom Frosch zu 4—5, die eines querdurchschnittenen Froschoberschenkels (Elément MATTEUCCI) zu 9—10 solcher Einheiten an. Die Kraft möglichst rasch zugerichteter, querdurchschnittener Kaninchenmuskeln fand er am Biceps brachii = 5—6, am Gastroknemius = 6—7, am Soleus = 10—11 Einheiten.[2]

[419] Sodann giebt Hr. WUNDT, ohne seine Methode zu beschreiben, in seinem 'Lehrbuch der Physiologie des Menschen' (Erlangen 1863) S. 416 an, dass er die Kraft zwischen Längs- und Querschnitt des Gastroknemius vom Frosch im Mittel $= {}^1/_{40}$ Daniell gefunden habe, was mit Hrn. REGNAULD's Beobachtungen sehr nahe übereinstimme. In der That sind 4·5 REGNAULD'sche Einheiten $= {}^1/_{39 \cdot 78}$ Daniell.

Sowohl Hrn. REGNAULD's wie Hrn. WUNDT's Versuche sind aber dadurch entwerthet, dass sie, den Versuch des Ersteren am Sartorius ausgenommen, nicht an regelmässigen Muskeln angestellt sind, sondern an theilweise durch schrägen natürlichen Querschnitt begrenzten, unregelmässigen Muskeln oder Muskelmassen, auf welche die Begriffe von Längs- und Querschnitt nicht ohne Weiteres anwendbar sind, an denen die von mir sogenannten Neigungsströme in's Spiel kommen, und deren Wirkung überdies von ihrer Parelektronomie abhängt. Die Folge wird denn auch

---

[1] Annales de Chimie et de Physique. 3me Série. t. XLIV. 1855. p. 491. — Vergl. Comptes rendus etc. 9 Janvier 1854. t. XXXVIII. p. 41.

[2] Comptes rendus etc. 15 Mai 1854. t. XXXVIII. p. 890; — Archives des Sciences physiques et naturelles etc. 1854. t. XXVII. p. 47. — Vergl. oben S. 229 ff.

lehren, dass die von beiden Forschern erhaltenen Zahlen, obschon an sich immerhin so richtig, dass es auf den Fehler nicht ankommt, von der elektromotorischen Kraft der Muskeln eine irrige, nämlich eine viel zu kleine Vorstellung geben.

## §. II. Versuchsweisen.

Das von mir abgeänderte POGGENDORFF'sche Compensationsverfahren bestimmt die zu messende elektromotorische Kraft $y$, z. B. des Muskels $M$ in Fig. 1, als Bruchtheil der Kraft $E$ der Maasskette $D$ durch die Formel

$$y = \frac{\lambda}{L + W} \cdot E,$$

wo $W$ den Widerstand der die Maasskette enthaltenden Hauptleitung bis zum Nebenschliessdraht $NB'DS$, $L$ den Widerstand des Nebenschliessdrahtes $NrS$, $\lambda$ den Widerstand der zum Compensiren aufgewendeten Strecke des letzteren Drahtes $Nr$ bedeuten. Der Widerstand der die Kraft $y$ und die zum Compensiren bestimmte Bussole $B$ enthaltenden Zweigleitung, die wir den Messkreis nennen wollen, fällt bekanntlich aus der Formel heraus.[1] Ist der Nebenschliessdraht in $N$ Theile getheilt, und [420] wurde das Gleichgewicht im Messkreise bei dem Theilstrich $n$ erreicht, so hat man

$$\lambda = \frac{n}{N} \cdot L,$$

und folglich

$$y = \frac{n}{N\left(1 + \frac{W}{L}\right)} \cdot E.$$

Es ist aber

$$\frac{W}{L} = \frac{1}{m - 1},$$

wenn man das Verhältniss

$$\frac{I}{I_1} = m$$

setzt, welches man findet, indem man bei offenem Messkreise an der in die Hauptleitung eingeschalteten Bussole $B'$ einmal die Stromstärke

$$I = \frac{E}{W},$$

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 176. 257; — Bd. II. S. 83 Anm. 1.

das andere Mal die

$$I_1 = \frac{E}{W + L}$$

beobachtet; und folglich

$$y = n \cdot \frac{m - 1}{mN} \cdot E.$$

In diesem Ausdruck stellt der ächte Bruch

$$\frac{m - 1}{mN}, \text{ den wir } = \frac{1}{k}$$

setzen wollen, mit $E$ multiplicirt den Bruchtheil der Kraft der Maasskette vor, um den sich die zu messende Kraft ändert, wenn für den Fall des Gleichgewichtes im Messkreise $n$ sich um die Einheit ändert. Mit anderen Worten, der Nebenschliessdraht einer solchen Vorrichtung ist einem Maassstabe für elektromotorische Kräfte zu vergleichen, der in $N$ $k$tel $E$ getheilt wäre. $k$ bestimmen, heisst den Werth eines Scalentheiles des Maassstabes ausmitteln, und der Bruch $\frac{E}{k}$, den wir $\left[\frac{E}{k}\right]$ schreiben [421] wollen, ist, was man füglich die Graduationsconstante der Vorrichtung nennen kann.

Diese Graduationsconstante lässt sich an einer gegebenen Vorrichtung noch anders bestimmen, nämlich statt unmittelbar, wie eben erklärt wurde, mittelbar unter Zuhülfenahme einer bereits bekannten elektromotorischen Kraft.

Diese kann entweder die einer beständigen Kette sein. Es sei deren Kraft z. B. = einem $\nu$tel Daniell. Man schaltet die Kette in den Messkreis, als wollte man ihre Kraft messen, und liest den Theilstrich $n'$ ab, wobei das Gleichgewicht erreicht wird. Dann hat man

$$\frac{D}{\nu} = n' \cdot \left[\frac{E}{k}\right],$$

wo $\left[\frac{E}{k}\right]$ die zu bestimmende Graduationsconstante; folglich, ohne für die Vorrichtung das Verhältniss $W : L$ zu kennen,

$$\left[\frac{E}{k}\right] = \frac{D}{n' \nu},$$

und beim nachmaligen Gebrauch der so graduirten Vorrichtung allgemein eine zu bestimmende elektromotorische Kraft

$$y = n \cdot \frac{D}{n' \nu}.$$

Oder die elektromotorische Kraft, die zur mittelbaren Bestimmung der Constanten dienen soll, wird in derselben Weise dem bereits gra-

duirten Schliessdraht einer Kette entlehnt, wie dies beim Messen einer elektromotorischen Kraft geschieht. Fig. 2 stellt die hierzu nöthige Anordnung vor. $I$ ist die bereits graduirte, $II$ die zu graduirende Vorrichtung, $B$ die Bussole; $D$, $K$ sind die beiden Ketten, deren elektromotorische Kräfte $E_1$, $E_2$ heissen sollen, $N_1$ $S_1$, $N_2$ $S_2$ die beiden Nebenschliessdrähte; endlich $r_1$ und $r_2$ zwei bewegliche Verbindungen. Ist bei geöffneter Verbindung $r_1 B r_2$ der Spannungsunterschied $(N_1, S_1) \gtrless (N_2, S_2)$, so kann man nach Schliessung von $r_1 B r_2$ für jede Stellung von $r_2$ auf dem Nebenschliessdraht $N_2 S_2$ eine Stellung von $r_1$ auf $N_1 S_1$ finden, wobei der Strom in der Bussole verschwindet. Alsdann ist auch kein Strom in der Leitung $N_1 N_2$; die Punkte $N_1, N_2$; $r_1$, $r_2$ haben einerlei Spannung und die Spannungsunterschiede $(N_1, r_1)$, $(N_2, r_2)$ sind gleich gross. Es ist aber

[422] $$(N_1, r_1) = n_1 \left[\frac{E_1}{k_1}\right],$$

wo $n_1$ die Zahl der Theilstriche zwischen $N_1$ und $r_1$ bei der gewählten Stellung von $r_2$, und $\left[\frac{E_1}{k_1}\right]$ die bekannte Graduationsconstante der Vorrichtung $I$ bedeuten. Ebenso ist

$$(N_2, r_2) = n_2 \left[\frac{E_2}{k_2}\right],$$

wo $n_2$ die Zahl der Theilstriche zwischen $N_2$ und $r_2$, und $\left[\frac{E_2}{k_2}\right]$ die zu bestimmende Graduationsconstante der Vorrichtung $II$ bedeuten. Man hat also

$$n_1 \left[\frac{E_1}{k_1}\right] = n_2 \left[\frac{E_2}{k_2}\right],$$

folglich, ohne für die Vorrichtung $II$ das Verhältniss $L : W$ zu kennen,

$$\left[\frac{E_2}{k_2}\right] = \frac{n_1}{n_2} \left[\frac{E_1}{k_1}\right],$$

und beim nachmaligen Gebrauch dieser Vorrichtung allgemein eine zu bestimmende elektromotorische Kraft

$$y = n \cdot \frac{n_1}{n_2} \left[\frac{E_1}{k_1}\right].$$

Die Graduationsconstante einer Vorrichtung ist bei gleicher Länge des Nebenschliessdrahtes und bei gleicher Feinheit der Theilung um so grösser, je grösser die Kraft $E$ der Maasskette, je dünner der Nebenschliessdraht und je kleiner der Widerstand $W$. Von diesen Umständen bietet der letztere ein leichtes Mittel, um nach Belieben einen gewissen Werth der Graduationsconstanten herbeizuführen, indem man $W$ durch

Ein- und Ausschalten von Drahtstrecken nach Bedürfniss verändert. Je kleiner nämlich die Constante bei gleicher Länge des Nebenschliessdrahtes, um so genauer misst man daran die elektromotorischen Kräfte, um so kürzer ist aber auch der Maassstab, dessen Länge durch $N\left[\frac{E}{k}\right]$ bestimmt wird; und es kommt darauf an, zwischen jenem Vortheil und diesem Nachtheil die passende Mitte zu finden. Ausserdem erscheint es auch noch wünschenswerth, der Graduationsconstanten einen möglichst bequemen numerischen Werth in dem Sinne zu geben, dass deren Nenner [423] eine gut zu handhabende ganze Zahl sei. Bei dem unmittelbaren Verfahren erreicht man dies, indem man den Werth von $m$ berechnet, und durch Verändern von $W$ herbeiführt, der den gewünschten Werth von $k$ bedingt; bei dem ersten mittelbaren Verfahren, indem man den Werth $n'$ berechnet, der in $\frac{D}{n' \cdot v}$ eingesetzt, $\left[\frac{E}{k}\right]$ den gewünschten Werth giebt, dann die bewegliche Verbindung so einstellt, dass $n = n'$, und nun $W$ so lange verändert, bis der Strom in der Bussole verschwindet; bei dem zweiten mittelbaren Verfahren endlich, indem man einen Werth für $n_1$ annimmt, dem, vermöge des Umfanges der Theilung der Vorrichtung *II*, sicher noch ein Werth von $n_2$ entspricht, dann den Werth von $n_2$ berechnet, der in $\frac{n_1}{n_2}\left[\frac{E_1}{k_1}\right]$ eingesetzt $\left[\frac{E_2}{k_2}\right]$ den gewünschten Werth ertheilt, hierauf $r_2$ die entsprechende Stellung giebt, und nun $W$ so lange verändert, bis der Strom in der Bussole verschwindet.

Ich habe bei den folgenden Versuchen von den beiden Graduationsmethoden, der unmittelbaren sowohl wie der mittelbaren, Gebrauch gemacht.

Bei einem Theil dieser Versuche diente mir als Maasskette ein Daniell, der mit möglichst reinem Material angesetzt war, und dessen verdünnte Schwefelsäure bei 25° C. 1·171 Dichte besass.[1] Als Nebenschliessdraht benutzte ich einen auf einer eichenen Schiene zwischen zwei darin eingelassenen Messingklötzen [424] gerade ausgespannten Platin-

---

[1] Die Daniell'sche Kette eignet sich mehr als die Grove'sche zu Messungen, wie sie hier bezweckt werden, weil ihre elektromotorische Kraft, wenn sie mit einiger Sorgfalt frisch zusammengesetzt ist, stets nahe denselben Werth zeigt, während die Kraft der Grove'schen Kette durch die Salpetersäure beeinflusst wird, die man im Handel nicht immer von gleicher Beschaffenheit erhält. Dagegen ist allerdings die Grove'sche Kette, bei hoher Concentration der Salpetersäure, an Beständigkeit der Kraft der Daniell'schen sehr überlegen. Ueber die Art, wie ich die Beständigkeit der Kraft meiner Maassketten controlirte, vergl. den Aufsatz: „Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.“ oben S. 206., Anmerkung.

draht von 0·5 $^{mm}$ Durchmesser. Der Abstand der Messingklötze betrug 1500 $^{mm}$, und eine Millimetertheilung war dem Draht entlang auf die Schiene geklebt. Die bewegliche Verbindung dieses Drahtes mit dem einen Ende des Messkreises wurde auf die von Hrn. Kirchhoff angegebene Art vermittelt durch einen mit Blei ausgegossenen hölzernen Läufer, der mit einer Platinschneide dem Draht aufruhte.[1]

Bei Anwendung dieser Vorrichtung wurde die Graduationsconstante mittels der in Fig. 3 schematisch dargestellten Anordnung unmittelbar bestimmt. *NS* ist wie früher der Nebenschliessdraht, *Nr* dessen Strecke vom Widerstand $\lambda$, *r* der Läufer, *M* der Muskel, dessen Kraft gemessen werden soll, $\mathfrak{S}$ der Ort eines Schlüssels, *G* der Stromwender, *D* der Daniell, $\sigma$ der Bussolspiegel; *NBDS* ist die Hauptleitung, *NGMA*$\mathfrak{S}$*Gr* der Messkreis. Der Stromwender ist in letzteren Kreis eingeschaltet, weil dessen Widerstand aus dem Ergebniss herausfällt, so dass ein etwaiger Unterschied in dem Widerstande des Stromwenders bei seinen beiden Lagen, wie er bei dem Pohl'schen Gyrotropen z. B. in geringem Maasse unvermeidlich ist, unschädlich wird. Das Besondere der beschriebenen Anordnung besteht darin, dass eine und dieselbe Wiedemann'sche Bussole zur Messung von $I$ und $I_1$ und auch zum Erkennen des Gleichgewichtes im Messkreise diente. Sie war dazu mit zwei Rollen *A* und *B* versehen. Dem Spiegel möglichst nahe und in den Messkreis eingeschaltet, um das Eintreten der Compensation zu beobachten, befand sich zunächst eine Rolle oder vielmehr ein doppeltes Rollenpaar *A* von im Ganzen 25700 Windungen dünnen Drahtes.[2] Die zur Auswerthung der Gra- [425] duationsconstanten bestimmte, in der Haupleitung befindliche

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1857. Bd. C. S. 180. Taf. III. Fig. 5. — Es war, bis auf geringe Aenderungen, dieselbe Vorrichtung, welche Hr. Joh. Ranke bei seinen in meinem Laboratorium angestellten Widerstandsmessungen als Wheatstone'sche Brücke benutzt hat. Der galvanische Leitungswiderstand des lebenden Muskels. Ansbach 1862. S. 14; — Tetanus. Eine physiologische Studie u. s. w. Leipzig 1865. S. 20. — [Vergl. oben Bd. I. S. 167. Anm. 194. Anm. 1.].

[2] Es bestand aus dem früher beschriebenen Rollenpaar von 12000 Windungen [S. oben Bd. I. S. 49], in Verbindung mit den von Hrn. Heidenhain angegebenen Hülfsrollen (Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit u. s. w. Leipzig 1864. S. 59 ff.), wodurch die Zahl der Windungen, wie sich aus Obigem ergiebt, mehr als verdoppelt, die Empfindlichkeit der Bussole jedoch mit einem Nerven im Kreise nur um etwa 0·4, mit dem M. sartorius nur um etwa 0·3 erhöht wurde. Dass der Zuwachs an Empfindlichkeit nicht bedeutender ist, obschon der Widerstand des Gewindes durch die Hülfsrollen viel weniger wächst als die Zahl der Windungen, erklärt sich aus der Kleinheit des Halbmessers der Hülfsrollen, in Folge deren die horizontale Componente ihrer Wirkung auf den Spiegel nur klein ausfällt.

Rolle $B$ hatte dagegen nur 106 Windungen dicken Drahtes, und wurde, wenn sie wirken sollte, in solcher Entfernung vom Spiegel aufgestellt, dass die Stromstärke $I$ eine Ablenkung von höchstens $300^{sc}$ erzeugte. Da diese Entfernung etwa $400^{mm}$, die der Scale vom Spiegel aber $2300^{mm}$ betrug, so konnten die Stromstärken $I$ und $I_1$ ohne merklichen Fehler den entsprechenden Verschiebungen des Scalenbildes proportional, oder diese $aI$, $aI_1$, wo $a$ eine Constante, gleichgesetzt werden. Bei offenem Messkreise wurde nun zuerst die Ablenkung $aI$ ohne Nebenschliessdraht, dann die $aI_1$ mit Nebenschliessdraht beobachtet, und so $m = \frac{I}{I_1}$ bestimmt. Diese Grösse ergab sich bei der getroffenen Anordnung zufällig so nahe $= 2$, dass der Unterschied zu vernachlässigen war. Die Graduationsconstante der Vorrichtung betrug unter diesen Umständen also $\frac{1}{2 \times 1500} D = \frac{1}{3000} D$, und es liess sich daran eine Kraft bis zu $\frac{1500}{3000} D = \frac{D}{2}$ messen. Diese Werthe lagen so bequem, dass an der Vorrichtung durch Verändern von $W$ nichts zu verbessern war.

Wurde dann die Rolle $B$, die dazu mit langen wohl isolirten Leitungsdrähten versehen war, so weit von der Bussole entfernt, dass sie keine merkliche Wirkung mehr auf den Spiegel übte, wie es die Figur in $NB_1D$ schematisch zeigt, so [426] konnte mittels der Rolle $A$ zu elektromotorischen Kraftmessungen im Messkreise geschritten werden, deren Sicherheit jedoch auf der Unveränderlichkeit der Kraft der Maasskette und ihres Widerstandes, wie auch des Widerstandes der Drahtleitungen fusst.

Die Schwierigkeiten in dieser Hinsicht, welche übrigens auch bei der Poggendorff'schen Compensationsmethode, und bei den anderen Messungsmethoden für die elektromotorische Kraft obwalten, entspringen aus der Veränderung der Kettenflüssigkeiten durch Diffusion, Zinkauflösung und Wasserbildung, und aus den Temperaturschwankungen des Kreises, theils wegen der Witterung, theils wegen der Wärmeentwickelung durch den Strom und durch örtliche chemische Wirkung.

Man hat

$$n = y \cdot \frac{N}{E} \cdot \frac{W + L}{L},$$

und also $n$ grösser, wenn $E$ kleiner wird, aber auch grösser, wenn $W$ wächst und wenn $L$ abnimmt. Dies sind gerade die Veränderungen, welche im Lauf einer längeren Versuchsreihe entstehen, indem Polarisation eintritt, die Kettenflüssigkeiten schlechter leitend, und die Drähte

erwärmt werden. Es ist deshalb gut, so oft als man es für nöthig hält, $I_1$ leicht und bequem nachsehen zu können. Dazu konnte ich der Rolle $B$ immer genau dieselbe Stellung dem Spiegel gegenüber wieder ertheilen. Weil dies für deren Leitungsdrähte, insofern ihre Wirkungen sich nicht aufhoben, nicht in gleichem Maasse thunlich war, hatte diese Rolle eine viel grössere Windungsanzahl als sonst nöthig gewesen wäre, damit nämlich gegen die Wirkung der Rolle selber die der Drähte verschwinde.

Die Witterung verdient Beachtung, wenn, wie es bei mir der Fall war, die Kettenflüssigkeiten in einem ungeheizten Raum aufbewahrt werden, und also im Sommer und im Winter ursprünglich um 30° verschiedene Temperatur haben können, im Winter aber später die Temperatur des geheizten Arbeitsraumes annehmen. So lange nicht die Temperatur der Kette stationär ward, ist überhaupt, worauf mich [427] Hr. Dr. Werner Siemens aufmerksam machte, auf keine Beständigkeit ihrer Kraft zu rechnen.

Die Wärmeentwickelung durch den Strom kommt auch insofern in Betracht, als die durch den Strom $I$ die durch den Strom $I_1$ um das $m^2$fache übertrifft, an meiner Vorrichtung also z. B. um das Vierfache, so dass, wenn man $I$ misst, $W$ kleiner und $L$ grösser ist, als wenn man $I_1$ misst. Man kann diesen Uebelstand dadurch verringern, dass man bei der Messung von $I$ rasch verfährt, bei der von $I_1$ aber, wie später bei der Compensation, den stationären Zustand abwartet.

Uebrigens braucht kaum bemerkt zu werden, dass es in dem Gebiete, wo sich meine Messungen bewegten, auf solche Feinheiten nicht ankommt; wie ich es auch nicht für der Mühe werth hielt, die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf meine Beobachtungsreihen anzuwenden.

Bei einem anderen Theil meiner Versuche ersetzte ich die vorige Vorrichtung, die ich den langen Compensator nenne, durch den früher beschriebenen runden Compensator,[1] mit einer grösseren Grove'schen Kette als Maasskette. Die Handhabung des runden Compensators ist ungleich bequemer als die des langen; allein in seiner jetzigen Verfassung verhinderte ein Umstand daran die Bestimmung der Graduationsconstanten sowohl auf dem unmittelbaren, als auf dem zweiten mittelbaren Wege, daher der erste mittelbare Weg hier eingeschlagen wurde.

Als Kette von beständiger Kraft, um in der oben geschilderten Weise damit die Messung zu übertragen, empfahl sich natürlich eine Thermosäule. Durch die Güte meines Freundes Dr. Siemens stand mir eine

---

1 S. oben Bd. I. S. 176. 257.

solche von ihm eigenthümlicher Einrichtung zu Gebote, in der 50 Eisen-Neusilber-Elemente und 50 Elemente aus galvanoplastischem Kupfer und Silber mittels Stöpselumschaltung beliebig verbunden werden können. Die elektromotorische Kraft dieser Säulen bei 0° und [428] 100° ihrer Löthstellen maass ich am langen Compensator, und fand im Mittel zahlreicher Versuche, deren Ergebnisse nur um sehr kleine Grössen auseinandergehen,

die Kraft der 50 Cu-Ag-El. = 0·0254 Daniell,
„ „ „ „ Fe-Neus.-El. = 0·1144 „

Die Kraft der beiden Säulen zusammen ergab sich statt zu

0·1399, wie sie hätte sein müssen, zu
0·1407, also um nur
0·0008 zu gross.

0·00051 und 0·00229 Daniell werden beziehlich sehr genaue Durchschnittswerthe für die Kraft eines einzelnen Elementes der beiden Thermosäulen sein.[1]

Nachdem so die Kraft der Thermosäulen, deren Strom sich als durchaus beständig erwies, auf die des Daniells bezogen war, wurde die Kupfer-Silber-Säule in den Messkreis des runden Compensators gebracht, der wieder die Rolle *A* enthielt, der Zeiger auf 203·2 gestellt und der Widerstand *W* der Hauptleitung so lange verändert, bis der Strom im Messkreise verschwand. Nun war ein Grad der tausendtheiligen Scale des Compensators $= \frac{D}{8000} = 0 \cdot 000125\, D$, die ganze Theilung aber $\frac{D}{8}$ werth, denn man hat

$$203 \cdot 2 = 0 \cdot 0254 \times 8000.^{2}$$

[429] Um die Eisen-Neusilber-Säule zu compensiren, musste jetzt der Zeiger im Mittel aus zehn Versuchen auf 895·6 gestellt werden. Dies giebt für die Kraft dieser Säule

---

[1] Die letztere Zahl stimmt schlecht mit der von Kohlrausch auf elektroskopischem Wege für das Eisen-Neusilber-Element ermittelten von $\frac{D}{6600}$ bei 10—15° Temperatur-Unterschied (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1852. Bd. LXXXII. S. 418), was, die Proportionalität der Kraft mit dem Temperaturunterschiede vorausgesetzt, nur 0·00101—0·00151 *D* bei 100° entspricht.

[2] Dies ist beiläufig der Werth der in der Abhandlung „Ueber die Erscheinungsweise u. s. w." (S. das. S. 197) gebrauchten Compensatorgrade. Bei den in der Abhandlung „Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w." (s. oben S. 179) vorkommenden Kraftmessungen war die Aufstellung des Compensators eine etwas verschiedene, und der Werth seiner Graduationsconstanten betrug $\frac{D}{7875}$.

statt 0·1144 Daniell, nur
0·1117 „ ; d. h.
0·0027 „ zu wenig.

Fortan konnte also der runde Compensator zu absoluten Kraftmessungen gebraucht werden, unter derselben Bedingung wie der lange, dass die Maasskette unverändert blieb. Ich habe ihn vorzüglich zu den Versuchen an den thierischen Elektromotoren angewendet, während ich für die im Folgenden vorkommenden Versuche über Flüssigkeitsketten, wo ich oft unvermuthet eines grösseren Umfanges der Theilung bedurfte, meist den langen Compensator wählte. Doch sind auch mehrere der Versuche an Muskeln und Nerven an letzterer Vorrichtung angestellt, weil der Umfang der Theilung des runden Compensators, wie sie einmal graduirt war, für die zu messenden Kräfte nicht reichte. In dem Folgenden sind alle elektromotorischen Kräfte auf die der Daniell'schen Kette als Einheit bezogen.

Wo es nöthig war, wie in den Versuchen an Nerven, und in solchen, wo sich destillirtes Wasser im Messkreise befand, wurde der Bussolspiegel bei den Ablesungen in diesem Kreise mittels des Hauy'schen Verfahrens astatisch gemacht.

## §. III. Von der Grösse der elektromotorischen Kraft der Muskeln.

Es ist schon oben angedeutet worden, weshalb eine Messung der elektromotorischen Kraft, an unregelmässigen und zum Theil durch natürlichen Querschnitt begrenzten Muskelmassen angestellt, werthlos ist, und es ist klar, dass es vom Standpunkte der Theorie aus hier vor Allem zwei Fragen sind, welche beantwortet sein wollen. Die erste Frage ist die, welchen Werth die elektromotorische Kraft zwischen Aequator und Polen eines durch zwei senkrechte künstliche Querschnitte begrenzten Muskels erreiche, weil nämlich die Kraft der elektromotorischen Molekeln mindestens doppelt so gross sein muss. Die zweite Frage ist die, welchen Werth die elektromotorische [430] Kraft an den natürlichen und künstlichen Muskelrhomben in Folge der unvollkommenen säulenartigen Anordnung am schrägen Querschnitt erlange; denn diese Kraft ist überhaupt die höchste, welche an Muskeln vorkommt, und deren Kenntniss kann wichtigen Schlüssen zur Grundlage dienen.

Die beste Art, zum Zwecke der Beantwortung der ersten Frage den Muskel in den Messkreis zu bringen, besteht darin, ihn passend unterstützt mit dem Aequator auf den von Glimmer entblössten Rand des

Thonschildes eines der gewöhnlichen Zuleitungsgefässe zu legen, den Pol aber, d. h. den negativsten Punkt des Querschnittes, mit der Thonspitze einer unpolarisirbaren Zuleitungsröhre aufzusuchen.

Man muss sich dabei hüten, sich durch den von mir in dem Aufsatz 'Ueber die durch Dehnung der Muskeln hervorgerufenen Neigungsströme' [1] beschriebenen Umstand täuschen zu lassen. Die Thonspitze klebt leicht dem Muskelquerschnitt an, und beim Versuch, sie vom Querschnitt zu lösen, folgt ihr dieser in Gestalt eines Kegels. Der Mantel dieses Kegels verhält sich als schräger künstlicher Querschnitt, so dass die Spitze des Kegels stärker negativ erscheint, als bei ebenem Querschnitt. Man muss sich zweitens bei solchen Messungen zur Ableitung vom Querschnitt einer frischen Thonspitze bedienen, damit nicht zur eigentlichen Muskelkraft die Kraft hinzutrete, die, wie ich letzthin zeigte, [2] der Säurung des Thones durch den Querschnitt entspringt.

Verfährt man so an den beiden dickeren unter den regelmässig gefaserten Oberschenkelmuskeln des Frosches, dem M. gracilis [3] und semimembranosus, so gelangt man unter günstigen Umständen zu einem Kraftwerth von 0·08 Daniell, der also schon den höchsten von Hrn. Regnauld überhaupt, nämlich an Kaninchenmuskeln, beobachteten Werth ($^{11}/_{179}$ = 0·061) erheblich übertrifft.

[431] Beim Anlegen eines Thonschildes an den Gesammtquerschnitt schwankt die Kraft des Gracilis und des Semimembranosus, je nach der Art, wie der Querschnitt berührt wird, und nach dem Ernährungszustande, weniger nach der Grösse des Thieres, [4] zwischen 0·035 und 0·075; ein Werth der Kraft um 0·05 herum ist das gewöhnlichste.

Ueber die verhältnissmässige Grösse der Kraft bei verschiedener Lage der Ableitungsstellen am Muskel Zahlen mitzutheilen, mit anderen Worten, das Gesetz des Muskelstromes durch die Messung der elektromotorischen Kraft, statt, wie bisher, der Stromstärke, darzuthun, wäre jetzt ein Leichtes; indessen liegt dies, wie aus dem Vorigen erhellt, hier nicht in meiner Absicht. Ein Theil der Fragen, die sich in dieser Beziehung darbieten, findet sich übrigens schon in meinen Abhandlungen 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.' und 'Ueber die Erscheinungsweise des Muskel- und Nervenstromes u. s. w.' beantwortet.

---

[1] S. oben S. 187.

[2] S. die vorige Abhandlung: „Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.“, oben S. 204 ff.

[3] In Bezug auf die hier und fortan von mir gebrauchten Muskelnamen vergl. ebendas. S. 193 Anm. 2.

[4] S. ebendas. S. 193 ff.

Ueber die verhältnissmässige Kraft der verschieden dicken Oberschenkelmuskeln s. letztere Abhandlung, oben S. 193. 212. 220. Wegen des in dieser Abhandlung aufgedeckten Fehlers der bisherigen Versuche sind neue mit Vermeidung dieses Fehlers angestellte Messungen nothwendig, um darüber etwas Sicheres aussagen zu können.

Nach meinen älteren Versuchen [1] hoffte ich noch höhere Kraftwerthe zu erhalten, wenn ich mich statt eines einzelnen Gracilis oder Semimembranosus beider, als Ein Muskel zugerichteter Muskeln zugleich bediente. Ich hatte damals beim Compensiren eines einzelnen Muskels mit einem solchen Doppel-Präparat das Uebergewicht meist auf des letzteren Seite gefunden. Nur das obere Ende des Semimembranosus zeigte sich manchmal stärker als die vereinten Muskeln. Jetzt maass ich an zehn Fröschen auf Seite *A* die obere und die untere Kraft des einzelnen Gracilis und Semimembranosus zwischen Aequator und Gesammtquerschnitt, auf Seite *B* die [432] der vereinten Muskeln, und zwar begann ich abwechselnd mit der einen und mit der anderen Prüfung, wodurch das Ergebniss gegen die erst seitdem dawider denkbar gewordenen Einwürfe gesichert erscheint, dass die Säurung des Thonschildes am Querschnitt und die postmortale Erhöhung der Muskelstromkraft sich darin eingemischt hätten.[2] Das Ergebniss war, dass am oberen Ende nur 4, am unteren 5 Mal, im Ganzen also nur 9 auf 20 Mal, die vereinten Muskeln sich stärker erwiesen, als der stärkste der einzeln aufgelegten. Folgende Tabelle zeigt beiläufig die Mittel aus diesen Versuchen.

| | $D = 1$ | Oberes Ende | Unteres Ende |
|---|---|---|---|
| *A* | *G* | 0·0371 | 0·0382 |
| *A* | *Sm* | 0·0479 | 0·0447 |
| *B* | *G* + *Sm* | 0·0476 | 0·0458 |

Die Zahlen sind an sich klein, weil der Versuch an Winterfröschen angestellt wurde. Der Erfolg entspricht, wie man sieht, der gehegten Erwartung nicht, und ich habe es daher unversucht gelassen, in der besseren Jahreszeit mit einer Thonspitze am Querschnitt der vereinten Muskeln noch höhere Werthe zu erhalten, als den auf voriger Seite verzeichneten Maximalwerth der elektromotorischen Kraft zwischen Aequator und

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 711.

[2] S. die Abhandlung „Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.“, oben S. 210. 217.

Pol von Froschmuskeln. Ich halte es für wahrscheinlich, dass in dem Fall, wo die vereinten Muskeln stärker wirkten als die einzelnen der anderen Seite, jeder oder wenigstens einer von ihnen, dies auch gethan hätte, und ich glaube, dass ich meine älteren Versuche nicht hinreichend vervielfältigt hatte, um den wahren Sachverhalt zu erfahren. In der That ist es auch jetzt theoretisch nicht mehr gut denkbar, dass das Zusammenlassen der Muskeln ihre elektromotorische Kraft erheblich begünstige. Denn die [433] Erhöhung der Kraft durch den grösseren Querschnitt erklären wir uns jetzt so, dass der Umfang des dickeren Muskels im Verhältniss zu seinem Querschnitt ein kleinerer ist, und dass dadurch der verderbliche Einfluss der Luft u. s. w. eingeschränkt wird. Wenn man aber auch den Gracilis und Semimembranosus als Einen Muskel präparirt, so hängen diese Muskeln doch nur seitlich mit einem schmalen Streif ihres Umfanges zusammen, so dass das Verhältniss des Gesammtumfanges zum Gesammtquerschnitt nahe das nämliche bleibt. Namentlich am oberen Ende ist dies der Fall, und vielleicht ist dies der Grund, weshalb hier das Zusammenlassen der Muskeln seltener, und im Mittel gar nicht, eine höhere Kraft liefert. Uebrigens ist nicht zu vergessen, erstens, dass die Kraft der Muskeln mit ihrem Querschnitt sich asymptotisch einer Grenze nähern muss, welche bei Muskeln von der Dicke des Gracilis und Semimembranosus vielleicht schon nahe erreicht ist; zweitens, dass, während diese Muskeln zusammen nur etwa doppelt so dick sind wie die einzelnen Muskeln, deren jeder etwa fünfmal dicker ist als der Sartorius, zehnmal dicker als der Cutaneus.[1] Könnte man den obigen Versuch mit einer fünf oder zehn statt mit einer nur zwei Mal dickeren Muskelgruppe anstellen, so würde man vermuthlich einen deutlicheren Ausschlag zu deren Gunsten erhalten. Diese Betrachtungen dienen dazu, dem Schluss vorzubeugen, den man zu ziehen jetzt geneigt sein könnte, dass die grössere elektromotorische Kraft der dickeren Muskeln nicht auf ihrem grösseren Querschnitt, sondern auf einer specifisch grösseren Leistungsfähigkeit beruhe: eine Vorstellung, gegen die auch die Thatsache spricht, dass das dickere obere Ende des Semimembranosus sich stärker negativ als das dünnere untere gegen den Aequator verhält.[2]

Hier ist der Ort, den Versuch des Hrn. Regnauld an der unteren Hälfte eines querdurchschnittenen Froschoberschenkels, dem sogenannten „Elément Matteucci“ (s. oben S. 233), [434] näher zu besprechen.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 705.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 712; — Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w. S. oben S. 168.

Hr. Matteucci, anstatt den Muskelstrom auf den Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt zurückzuführen, blieb bekanntlich bei jenem Präparat als angeblich einfachstem Träger der elektromotorischen Thätigkeit der Muskeln stehen, und benutzte es bei zahlreichen Versuchen in dem Sinne, wie etwa ich den durch zwei senkrechte Querschnitte begrenzten Gracilis, indem er es einerseits mit dem Querschnitt, andererseits mit dem Knie auflegte.[1] Ich brauche wohl kaum die an sich einleuchtenden Gründe zu wiederholen, aus denen diese Versuchsweise zu nichts führen kann. Abgesehen davon, dass der Querschnitt des Oberschenkels, wegen des ungleichen Zurückziehens der Muskeln, treppenförmig ausfällt und Längsschnitt eingemischt enthält, hat man es am Knie nicht mit Längsschnitt, sondern mit verwickelt gestalteten schrägen natürlichen Querschnitten zu thun, deren Wirkung von ihrer Parelektronomie abhängt. Nur bei hoher Parelektronomie wird sich also das Knie neutral, d. h. so positiv wie Längsschnitt gegen den Querschnitt verhalten. Bei geringer Parelektronomie oder nach zerstörter parelektronomischer Schicht am Sehnenspiegel des Triceps wird es im Gegentheil sich negativ verhalten, und bei längerem Aufliegen kann sogar leicht der Strom sich umkehren, wie er dies nicht selten an einem Gastroknemius thut, den man oben mit einem auf die Muskelaxe senkrechten künstlichen Querschnitt, unten mit dem Achillesspiegel auflegt.[2] Eine Bestimmung der Kraft des Matteucci'schen Präparates ist also ohne jedes Interesse, und anstatt dass so ein Maximalwerth der Kraft der Muskeln zu beobachten wäre, ist der Erfolg vielmehr völlig dem Zufall überlassen. Bei einigen gelegentlich an diesem Präparat ausgeführten Messungen fand ich dessen Kraft denn auch erheblich kleiner als die eines richtig aufgelegten Gracilis oder Semimembranosus desselben Frosches, und selbst Hrn. Regnauld's höchster Werth für die Kraft des Matteucci'schen [435] Präparates ($^{10}/_{179}$ = 0·056 Daniell) fällt mit unserem Mittelwerthe für die Wirkung eines dieser Muskeln zusammen.

Um die elektromotorische Kraft der Neigungsströme zu messen, bedarf man zweier unpolarisirbarer Zuleitungsröhren mit Thonspitzen. Der runde Compensator ist, wegen des zu geringen Umfanges seiner Theilung, mit dem geraden zu vertauschen. An künstlichen Muskelrhomben erhielt ich zwischen dem Längsschnitt der stumpfen Ecke nahe und einem kleinen senkrechten Querschnitt, durch den die spitze Ecke abgestumpft war, Spannungsunterschiede bis zu 0·107 Daniell. Die Kraft aber

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 529 ff. — Vergl. Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni. Torino 1861. p. 95. 98. 102.

[2] S. oben S. 147.

zwischen der Hauptsehne des Gastroknemius und einem kleinen senkrechten Querschnitt unmittelbar über der Achillessehne nach Zerstörung der parelektronomischen Schicht durch Kreosot oder Essigsäure ergab sich sogar im Mittel aus 12 Versuchen zu 0·114 Daniell; darunter sah ich sie zweimal auf 0·141, d. h. 5·6 Mal höher steigen, als Hr. Regnauld und Hr. Wundt.

Wir kommen nun zu einer Frage, deren Entscheidung sehr wünschenswerth wäre, und jetzt leicht erscheint, nämlich der nach der verhältnissmässigen Kraft der warm- und der kaltblütigen Muskeln. Der regere Stoffwechsel in den ersteren, ihre grösseren mechanischen Leistungen, insofern ein Zusammenhang der elektromotorischen mit der mechanischen Thätigkeit angenommen wird, lassen auf eine überlegene elektromotorische Kraft schliessen; und eine solche ist denn auch bereits als Thatsache mehrfach behauptet worden.

Aus den grösseren Ausschlägen, die er von Muskelmassen frisch getödteter warmblütiger Thiere trotz der raschen Abnahme ihres Stromes nach dem Tode erhielt, schloss Hr. Matteucci auf eine ursprünglich grössere Kraft dieser Muskeln, und er sah eine Bestätigung seines Satzes darin, dass eine Säule aus lebenden Tauben einen stärkeren Strom gab, als eine Säule aus einer gleichen Anzahl von lebenden Fröschen, indem er jener den grösseren Widerstand beimass.[1] Doch blieb er damals [436] den Beweis hierfür schuldig, da er gerade bei dieser Gelegenheit versäumte, das ihm doch sonst geläufige Compensationsverfahren anzuwenden, was sich daraus erklärt, dass ihm der Vortheil dieses Verfahrens, den Widerstand zu eliminiren, nicht deutlich war.[2]

Seitdem hat aber Hr. Matteucci dies Versäumniss nachgeholt. Er hat Säulen aus Tauben- und Kaninchenmuskeln solchen aus Froschmuskeln entgegengesetzt, und gesehen, dass anfänglich erstere die Oberhand hatten, dass dann nach 20—30 Minuten der Strom Null ward, und nach einer Stunde der Ausschlag im Sinne der Froschmuskeln geschah.[3] Er stellte auch den Versuch mit nur einem querdurchschnittenen Oberschenkel vom Frosch und vom Kaninchen oder der Taube an, und liess die Querschnitte einander unmittelbar berühren.[4]

---

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 145; — Abth. II. S. 3. — Hr. Matteucci spricht zwar dabei stets von der „Intensität" statt von der elektromotorischen Kraft; doch ist klar, dass er letztere meint.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 246.

[3] Philosophical Transactions etc. For the Year 1857. P. I. p. 134.

[4] Lezioni di Elettro-Fisiologiâ. Corso dato nell' Università di Pisa nell' anno

Hrn. MATTEUCCI's ältere sowohl als neuere Versuche hat Hr. CIMA in gleicher Art wiederholt, nur dass er in letzteren den halben Kaninchen- oder Tauben-Oberschenkel durch einen einzigen davon abgelösten Muskel ersetzte.[1]

Hr. REGNAULD endlich hat, wie wir bereits sahen, als höchste Kraft der Kaninchenmuskeln $^{11}/_{179} = 0 \cdot 061$ Daniell, als höchste der Froschmuskeln $^{10}/_{179} = 0 \cdot 056$ angegeben (S. oben S. 233. 243. 246).

Inzwischen sind alle diese Versuche deshalb nicht beweisend, weil sie mit unregelmässigen Muskelmassen angestellt [437] sind. Das MATTEUCCI'sche Präparat kann aus den oben erwähnten Gründen nicht das Maass der Kraft der Froschmuskeln liefern, und Hrn. REGNAULD's Zahl für letztere ist, wie wir sahen, bedeutend zu klein. Die Kraft der richtig behandelten Froschmuskeln übertrifft vielmehr die von ihm den Säugethiermuskeln zugeschriebene Kraft. Ebensowenig aber kann nunmehr ein auf's Gerathewohl abgehacktes Kaninchenbein, noch auch ein so unregelmässiger Muskel, wie die von Hrn. REGNAULD angewendeten, ein Maass der Kraft der warmblütigen Muskeln liefern. Und es ist wohl zu bemerken, dass an einem unregelmässigen Präparat der Art die Kraft ebensowohl zu gross, wie zu klein erscheinen kann: wenn nämlich schräge natürliche Querschnitte ihre elektromotorische Wirkung in gleichem Sinne mit der des Stromes zwischen Längsschnitt und Querschnitt üben. Zur Erläuterung hiervon dient das Verhalten eines durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Gastroknemius oder Triceps vom Frosch, wie es aus den Tabellen III. und X. in der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.' erhellt. Vor Zerstörung der parelektronomischen Schicht findet man an einem solchen Präparat die obere und untere Stromkraft nahe gleich, nach der Zerstörung übertrifft die untere Kraft die obere um eine ungeheure Grösse. Wenn also an den unregelmässigen Kaninchenmuskeln schwach parelektronomische Sehnenspiegel gleichsinnig mit dem künstlichen Querschnitt, am halben Froschoberschenkel aber umgekehrt wirkten, so konnte dies den Kaninchenmuskeln, trotz geringerer specifischer Kraft, das Uebergewicht verschaffen.

Ich habe mich, zur Beantwortung der vorliegenden Frage, an die regelmässigen Muskeln gewendet, an denen es auch bei den warmblütigen

---

1856. Torino 1856. p. 35; — Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni date in Torino ec. Torino 1861. p. 100.

[1] Saggio . . . sulle Correnti elettro-fisiologiche. In ZANTEDESCHI's Raccolta Fisico-chimica italiana, ec. 1848. Vol. III. p. 484; — Ricerche intorno ad alcuni punti di Elettro-Fisiologia. Memorie dell' Accademia delle Scienze di Bologna 1858. Tom. IX. p. 35; — Il nuovo Cimento ec. 1859. Tom. X. p. 413.

Thieren nicht ganz fehlt. Ausser dem Sartorius des Hundes, auf den schon Hr. Kühne aufmerksam gemacht hat,[1] besitzen wir einen solchen, recht gut zugänglichen, auch noch an dem M. sterno-cleido-mastoïdeus des Kaninchens. Bei diesen Versuchen präparirte ein Gehülfe mög- [438] lichst rasch die Muskeln, während ich die Messvorrichtung in Bereitschaft hielt und handhabte. So oft ich nun aber auch die regelmässigen Kaninchenmuskeln so warm und zuckend wie möglich auf die Thonschilder meiner Vorrichtung brachte, nie gelang es mir bisher, auch nur eine gleich grosse elektromotorische Kraft zu beobachten, wie an gut genährten und richtig behandelten Froschmuskeln, sondern die höchste Kraft, die ich gelegentlich erhielt, betrug nur 0·049.

Noch weniger vortheilhaft erwies es sich, von den beiden Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren die eine dem Längsschnitt, die andere dem Querschnitt der am lebenden Kaninchen entblössten und durch eine klaffende Querwunde getrennten Muskelmasse des Oberschenkels zu nähern. Die Wirkungen erreichten nicht einmal die obige Grösse.

Ich bin weit entfernt, hieraus schliessen zu wollen, dass die elektromotorische Kraft der lebenden warmblütigen Muskeln kleiner ist als die der kaltblütigen. Erwägt man das ausserordentlich rasche Absterben der ersteren, welches bekanntlich nicht erlaubt, sie ausserhalb des lebenden Körpers vom Nerven aus erfolgreich zu tetanisiren, geschweige ihre mechanischen Leistungen gleich denen der Froschmuskeln zu studiren, so erscheint unser Ergebniss ganz erklärlich, auch unter der Voraussetzung einer ursprünglich höheren elektromotorischen Kraft der Kaninchenmuskeln. Unstreitig würde man auch die specifische mechanische Kraft warmblütiger Muskeln unter denselben Umständen kleiner finden, als die der Froschmuskeln. Durch den Versuch darthun aber lässt sich die elektromotorische Ueberlegenheit der warmblütigen Muskeln nicht. Hrn. Matteucci's, Hrn. Cima's und Hrn. Regnauld's Erfolg erklärt sich daraus, dass sie die Froschmuskeln nicht richtig behandelten; und der absolut höhere Werth, den Hr. Regnauld für die Kraft der Kaninchenmuskeln im Vergleich zu unserer Bestimmung fand, beruht vermuthlich auf der Mitwirkung der Sehnenspiegel an den von ihm angewendeten Muskeln, [439] deren Parelektronomie zu zerstören schon die Berührung mit dem Finger hinreicht.

Versuche an Vogelmuskeln konnten sich natürlich hiernach nicht lohnen. Von grossem Interesse wäre es, die elektromotorische Kraft von

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 604. — [Hr. Krause empfiehlt als regelmässigen Muskel den *Tensor fasciae cruris* der Katze (Die motorischen Endplatten der quergestreiften Muskelfasern. Hannover 1869. S. 2)].

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 341.

Säugethiermuskeln zu bestimmen, die nach Hrn. Claude Bernard's Angabe kaltblütig gemacht wurden,[1] wie auch die der Winterschläfer in ihrer Lethargie. Ich habe noch nicht Zeit gehabt, den ersten, und noch nicht Gelegenheit, den zweiten dieser Versuche anzustellen.

## §. IV. Von der Grösse der elektromotorischen Kraft der Nerven in der Ruhe.

Hr. Matteucci hat mittels des Compensationsverfahrens die elektromotorische Kraft von Nerv und Muskel verglichen und gefunden, dass 8—11 Nerven, säulenartig angeordnet, dazu nöthig sind, um einem halben Oberschenkel das Gleichgewicht zu halten.[2] Hr. Cima hat ähnliche Versuche angestellt, indem er die elektromotorische Wirkung der oberen Hälfte eines Gastroknemius durch 4—5 säulenartig angeordnete Nerven aufhob.[3] Auch diese Versuche sind entwerthet durch die Anwendung unregelmässiger Muskelmassen. Auf alle Fälle ist die Kraft der Nerven grösser, als Hr. Matteucci und Hr. Cima sie veranschlagen.

Am dickeren Abschnitt des Ichiadnerven nämlich, oberhalb des Abganges der Oberschenkeläste, habe ich sie zu 0·022 gefunden, also nicht volle vier Mal kleiner als die grösste an senkrecht durchschnittenen Muskeln vorkommende Kraft. Am dünneren unteren Abschnitt beträgt die Kraft durch- [440] schnittlich nur etwa 0·018. Die Kraft der Froschnerven ist sonach etwa eben so gross wie die des doch viel dickeren oberen Endes des Cutaneus, die sich zu durchschnittlich 0·019 veranschlagen lässt. Die elektromotorische Kraft der Nerven ist also im Vergleich zu der der Muskeln sehr viel grösser als der Querschnitt der Nerven im Vergleich zu dem der Muskeln; und man darf schliessen, dass sie bei gleichem Querschnitt grösser sein würde als die der Muskeln.

---

[1] Leçons sur les effets des Substances toxiques et médicamenteuses. Paris 1857. p. 128; — Leçons sur la Physiologie et la Pathologie du Système nerveux. Paris 1858. t. II. p. 12; — Leçons sur les Propriétés des Tissus vivants. Paris 1866. p. 274; — [Leçons de Pathologie expérimentale. Paris 1872. p. 236. 240. 554. — Vergl. Schiff in Brown-Séquard, Charcot et Vulpian, Archives de Physiologie normale et pathologique. 1869. t. II. p. 166.]

[2] Philosophical Transactions etc. For the Year 1857. P. I. p. 135; — Lezioni di Elettro-Fisiologia. Corso dato nell' Università di Pisa nell' anno 1856 ec. Torino 1856. p. 43; — Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni ec. Torino 1861. p. 107.

[3] Ricerche intorno ad alcuni punti di Elettro-Fisiologia ec. Bologna 1858. p. 98 e seg.

Die Kraft der Nerven warmblütiger Thiere maass ich am N. ischiadicus des Kaninchens. Der höchste Werth, den ich erhielt, 0·026, überstieg nicht sehr den höchsten am oberen Abschnitt des Ischiadicus vom Frosche beobachteten Werth, da doch in Betracht des grösseren Querschnittes schon bei gleicher Beschaffenheit der Nerven eine grössere Kraft zu erwarten gewesen wäre. Es wiederholt sich also hier das was wir schon bei Untersuchung der Säugethiermuskeln erfuhren, dass nämlich eine grössere elektromotorische Kraft der warmblütigen Gewebe unmittelbar nicht nachzuweisen ist. Bei den Muskeln liess sich dies darauf zurückführen, dass sie, wie die schnell sinkende mechanische Leistung bekundet, zu rasch absterben, als dass sich die vorausgesetzte, ursprüngliche Ueberlegenheit ihrer Kraft geltend machen könnte. Bei den Nerven scheint es nicht, als ob diese Rechtfertigung ihrer verhältnissmässig nicht grösseren elektromotorischen Kraft zulässig wäre. Denn die Nerven der Säugethiere, wenn nur die Organe, auf die sie wirken, leistungsfähig bleiben, wie dies z. B. für den Vagus der Fall ist, bleiben ihrerseits erkaltet und ohne Kreislauf lange leistungsfähig, wie sie denn auch auf ihrem Querschnitt, im Vergleich zu den Muskeln, arm an Blutgefässen sind. Nur wo krafterzeugende Ganglienkugeln vorhanden sind, in der sogenannten grauen Substanz, in der Ganglienkugelschicht der Retina, ist das Nervengewebe gefässreich, zum Zeichen des hier stattfindenden ansehnlichen Stoffverbrauches.

## [441] §. V. Von der Grösse der elektromotorischen Kraft der Nerven im Elektrotonus.

Ich wendete mich nun dazu, die elektromotorische Kraft zu bestimmen, welche an den Nerven im Elektrotonus hervortritt. Zur Zuleitung des erregenden Stromes und zur Ableitung des Stromes des elektrotonisirten Nerven dienten Zuleitungsröhren mit Thonspitzen. Die Aufstellung des Nerven geschah folgendermaassen. An der wagerechten Glasstange eines Nörremberg'schen (aus Glas und Kork verfertigten) Trägers[1] verschoben sich zwei gefirnisste Korkstücke von der in Fig. 4 abgebildeten Gestalt. In der Rinne längs der First der, wie man sieht, dachähnlich zugeschnittenen Stücke lag der Nerv, und man konnte ihm so die Thonspitzen von oben her bequem und sicher anlegen, ohne dass er seitlich auswich. Die den elektrotonisirenden Strom zuführenden Thonspitzen

[1] Monatsberichte der Akademie. 1861. S. 1105. 1106. — Vergl. unten Abh. XXIX. §. I.

wurden über dem einen, die den Elektrotonusstrom abführenden Thonspitzen über dem anderen Kork dem Nerven angelegt, wie die Figur zeigt. So waren die erregte und die abgeleitete Strecke, abgesehen von ihrer Verbindung durch den Nerven selber, so sicher wie möglich von einander isolirt. Die Länge dieser beiden Strecken betrug bei den folgenden Versuchen beiläufig stets 10 $^{mm}$; die Länge der ableitenden Strecke, wie wir die Strecke zwischen der erregten und der abgeleiteten Strecke nennen wollen, wurde nach Bedürfniss verschieden gewählt. Die ganze, aus dem Nörremberg'schen Träger und den vier unpolarisirbaren Zuleitungsröhren bestehende Vorrichtung befand sich in einer feuchten Kammer. Die erregende Kette war eine zehngliederige Grove'sche Säule der kleineren Art, deren Strom durch ein Rheochord abgestuft wurde. Waren sämmtliche Stöpsel aus dem Rheochord entfernt, so wurde bei Gegenwart eines Nerven im Kreise die Stromstärke durch das Rheochord nur um $^1/_{30}$ vermindert.[1]

Gleich die ersten Versuche zeigten, dass mit den jetzigen [442] Hülfsmitteln hier eine Fülle neuer Erscheinungen zu beobachten ist. Unter den früheren Umständen waren die elektromotorischen Wirkungen des elektrotonisirten Nerven immer nur flüchtig, und deshalb schwer aufzufassen. Dies lag wesentlich an drei Ursachen, die jetzt fortfallen: 1. an der Trockniss des (noch überdies durch den Strom erwärmten) Nerven, 2. an der Zerstörung des Nerven durch die an den Platinelektroden ausgeschiedenen Ionen, 3., und vorzüglich, an der doppelten Polarisation, nämlich der an den Platinelektroden der stromzuführenden Vorrichtung, und der an den Platinplatten der Zuleitungsgefässe. Demgemäss treten die Elektrotonusströme jetzt mit einer Stärke und Beständigkeit auf, dass man seinen Augen kaum traut, und es geben sich Umstände kund, von denen früher keine Andeutung vorhanden war, und welche die ganze Angelegenheit in einem neuen Licht erscheinen lassen. Obschon es nicht in meiner Absicht liegt, hier ausführlich auf diesen Gegenstand einzugehen, bin ich doch genöthigt, um das gegenwärtige Ziel zu erreichen, Einiges davon zur Sprache zu bringen.

Es wird zweckmässig sein, dabei die früher von mir gebrauchte Terminologie mit Rücksicht auf die seitdem in diesem Gebiete gemachten Fortschritte abzuändern. Die Ausdrücke 'positive' und 'negative Phase' verdankten ihre Entstehung der Art, wie ich zuerst zur Beobachtung des Stromzuwachses im Elektrotonus kam, wobei sich dieser Zuwachs als eine Verstärkung oder Schwächung des ursprünglichen Nervenstromes darstellte. Sie sind aber sichtlich ungeeignet, den veränderten Zustand zu

[1] [Vergl. oben Bd. I. S. 189. 191. 194.]

bezeichnen, in den die beiden extrapolaren Strecken versetzt sind, da nur, wenn der Aequator in der intrapolaren Strecke liegt, beide extrapolare Strecken sich ihrer ganzen Länge nach beziehlich in der positiven und negativen Phase befinden. Liegt der Aequator in der einen extrapolaren Strecke, so trennt er eine Nervenhälfte in positiver von einer in negativer Phase, während er doch auf Fortpflanzung des Elektrotonus einen Einfluss weder übt noch üben kann. In diesem Falle wird es geradezu falsch, wenn man z. B. sagt, der Zuwachs in der positiven übertreffe den in der negativen Phase. Hälftet gar der Aequator die abgeleitete Strecke, so ist der [443] ursprüngliche Strom Null, und jene Ausdrücke verlieren vollends alle Bedeutung. Deren Beibehaltung würde aber auch, abgesehen von diesen Uebelständen, die Einsicht erschweren in den Zusammenhang der von mir beobachteten mit den Pflüger'schen Thatsachen. Es ist klar, dass, was ich als positive und negative Phase des Elektrotonus zu bezeichnen pflegte, beziehlich mit dem Anelektrotonus und mit dem Katelektrotonus zusammenfällt. Demgemäss wird künftig, statt vom Stromzuwachs in der einen oder anderen Phase, vom anelektrotonischen und katelektrotonischen Stromzuwachs, oder auch vom Anelektrotonus- oder Katelektrotonus-Strom schlechthin, die Rede sein. Liegt der Aequator in der intrapolaren Strecke, für welchen Fall allein, wie wir eben sahen, die Ausdrücke positive und negative Phase zutreffen, so entspricht die scheinbare Verstärkung des ursprünglichen Stromes also der Herabsetzung, dessen scheinbare Schwächung der Erhöhung der Erregbarkeit.

Ein erster Fortschritt, der mir jetzt hier gelang, betrifft die Täuschungen, denen man durch das Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Bussolkreis ausgesetzt ist. Ich wollte natürlich nicht unterlassen, bei der so sehr gesteigerten Empfindlichkeit der Vorrichtung mich von Neuem hierüber zu unterrichten. Ich verfuhr dabei im Wesentlichen wie früher, indem ich bald den Nerven in der ableitenden Strecke zerschnitt, bald statt des Nerven einen mit einer 0·75 procentigen Kochsalzlösung getränkten Wollfaden in die Rinne der Vorrichtung bettete.

Es zeigte sich zunächst, dass bei grösseren Stromstärken (sechs Grove, keine Stöpsel), trotz der vollkommensten Isolation, die sich in der feuchten Kammer erreichen liess, eine unipolare Wirkung der Art, wie ich sie in meinem Werke beschrieben habe,[1] im Betrage von etwa $\pm$ 1 $^{sc}$ übrig blieb. Auf diese wird man also stets gefasst sein und sich hüten müssen, sie als einen die Durchschneidung der ableitenden Strecke überdauernden Rest von Elektrotonus anzusehen, wozu die Uebereinstimmung ihrer Richtung mit der des Elektrotonusstromes ver- [444] leiten kann.

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. I. S. 496.

Ihre Natur wird leicht erkannt dadurch, dass sie fortbesteht, auch wenn man den Bussolkreis zwischen der Bussole und der entfernteren Thonspitze öffnet oder letztere vom Nerven abhebt. Dadurch wird auch bewiesen, dass es sich nicht um einen Zweig eines Stromzweiges handelt, der von der, der abgeleiteten Strecke näheren Thonspitze der Säule durch Nerv, Kork und Glas sich zu der von jener Strecke enfernteren Thonspitze begäbe.

Abgesehen von dieser Störung treten, wenn die ableitende Strecke sehr kurz, d. h. nur etwa 1 mm lang ist, bei grösserer Stromstärke Wirkungen auf, welche keinem Gesetz zu gehorchen scheinen, da sie bald stark, bald schwach, bald dem Elektrotonusstrome gleich, bald ihm entgegengesetzt gerichtet sind. Solchen Wirkungen war ich schon früher manchmal begegnet, wenn ich nach Durchschneidung des Nerven den einen oder anderen Abschnitt wieder auflegte, und bei sehr verkürzter ableitender Strecke die Durchschneidung nochmals vornahm. Es hatte dann öfter den Anschein, als beständen trotz der Durchschneidung die Elektrotonusströme geschwächt fort, und zuweilen, als hätten sich diese Ströme zugleich umgekehrt. Bei der jetzigen Art der Ableitung, mittels der Thonspitzen, fiel es auf, dass eine sehr geringe quere Verschiebung der einen oder anderen Spitze am Umfang des Nerven oder Fadens hinreichte, um die Grösse der Wirkung bedeutend zu verändern, ja deren Sinn umzukehren.

Folgende Ueberlegung deckt den Grund dieser Erscheinungen auf. Man denke sich der Oberfläche eines leitenden gleichartigen Cylinders, in einer der Axe parallelen Geraden, ein stromzuführendes Elektrodenpaar $+E$ und $-E$ (s. Fig. 5) angelegt, so wird die Durchschnittslinie einer durch die Axe und jene Gerade gelegten Ebene mit der Cylinderoberfläche eine Strömungscurve sein. In den beiden punktirten Parallelkreisen $e_1\ e_2$, $\varepsilon_1\ \varepsilon_2$ denke man sich ferner der Cylinderoberfläche die Enden eines ableitenden Bogens angelegt. Im Allgemeinen wird sich durch den Bogen ein Stromzweig ergiessen; und zwar ist leicht zu sehen, dass er von $e_1$ nach $\varepsilon_1$ und $\varepsilon_2$ wie der Elektrotonusstrom, von $\varepsilon_1$ und $\varepsilon_2$ nach $e_2$ umgekehrt [445] fliessen wird. Geht der ableitende Bogen aus einer der ersteren Lagen in eine der letzteren über, so muss der Stromzweig durch Null hindurch sein Zeichen wechseln. Auch von $e_1$ nach $e_2$ und von $\varepsilon_1$ nach $\varepsilon_2$ wird man natürlich Stromzweige im Bogen erhalten. Das Verhalten bleibt im Wesentlichen dasselbe, wenn $-E$ nach $-E_1$ hin gerückt wird. Dies Alles fliesst zu einfach aus bekannten Grundsätzen, als dass ein Zweifel daran sein könnte; doch unterliess ich nicht, mich von der Richtigkeit obiger Schlüsse durch den Versuch an einem etwa 8 mm dicken Cylinder zu überzeugen, den ich aus Thon formte, und

dem ich, gleich einem Nerven, die beiden Paare von Thonspitzen anlegte.

Lässt man in Gedanken den Cylinder im Vergleich zu den angelegten Spitzen und ihrem Abstand immer dünner werden, bis die Verhältnisse denen am Nerven oder Faden ähnlich sind, so bleiben doch die Curven an seiner Oberfläche im Wesentlichen dieselben. Man versteht also dergestalt die raschen Wechsel der Grösse und Richtung des abgeleiteten Stromzweiges bei kleinen seitlichen Verschiebungen der Spitzen wenigstens in mehreren Hauptfällen. Bei anderen Lagen der den Strom zuführenden Spitzen kann man nicht mehr mit gleicher Sicherheit die Betrachtung durchführen; man sieht aber leicht, dass die Sache stets auf das Nämliche hinauslaufen wird, und man wird ohnehin darauf verzichten müssen, in jedem einzelnen Falle Grösse und Richtung des Stromzweiges genau zu erklären, weil der Punkt, wo die verhältnissmässig grobe und auch nachgiebige Thonspitze den Umfang des Nerven oder Fadens ableitend berührt, nicht scharf anzugeben ist.

Von diesen Wirkungen sind die dem Elektrotonus angehörigen stets leicht durch ihre Stärke und durch die Beständigkeit ihrer Richtung zu unterscheiden. Sie wurden fortan nur noch zwischen Punkten des natürlichen Längsschnittes des Nerven und in solcher Entfernung von beiden Querschnitten beobachtet, dass der ursprüngliche Strom so gut wie Null war; und was etwa von diesem übrig blieb, wurde mit Hülfe des im Nervenkreise befindlichen Compensators vernichtet, so dass Anelektrotonus- und Katelektrotonus-Strom rein hervortraten. Die [446] neue und wichtige Thatsache, die sich jetzt sogleich ergab, besteht darin, dass der Zustand des Nerven im Elektrotonus kein Zustand des Gleichgewichtes, sondern einer der steten Veränderung ist, und dass diese Veränderung im Anelektrotonus und Katelektrotonus, wie sie sich elektromotorisch ausspricht, nach verschiedenem Gesetze vor sich geht.

Es zeigt sich nämlich, dass vom ersten Augenblick an, wo die Beobachtung möglich ist, der Katelektrotonusstrom sinkt, um sich asymptotisch einer unteren Grenze zu nähern; der Anelektrotonusstrom hingegen von dem entsprechenden Augenblick an wächst, ein Maximum erreicht, und erst dann nach vergleichsweise langer Zeit sinkt. Die Curven in Fig. 6 stellen in ihrer ausgezogenen Strecke dieses Verhalten schematisch dar. Die Curve $a_1 a_2$ bezieht sich auf den Anelektrotonus, die beiden Curven $k_1 k_2$, $k^1 k^2$ auf den Katelektrotonus. Der Augenblick $s$ soll der der Schliessung der erregenden Kette, der $t_1$ der sein, wo der Spiegel zur Ruhe gekommen ist; doch ist zu bemerken, dass der Abschnitt $st_1$, dem in Wirklichkeit nur wenige Secunden entsprechen, im Vergleich zu der

sonstigen Länge der Zeichnung viel zu gross ist, da bis zum Maximum des Anelektrotonusstromes Minuten verstreichen.

Das Verhalten ist, im Grossen, unabhängig von der Richtung, in der sich der Elektrotonus ausbreitet, d. h. man beobachtet es sowohl bei auf- wie bei absteigendem Elektrotonus. Ich habe es wahrgenommen mit erregenden Strömen von jeder Stärke, bis zu der vollen Stärke der zehngliederigen GROVE'schen Säule; und bei jeder Länge der ableitenden Strecke von 1 $^{mm}$ bis zu 15 $^{mm}$; doch verwirrten sich hier zuletzt die Erscheinungen.

Von dem Maassstab, in dem sich diese Phänomene bewegen, mögen folgende Zahlen eine Vorstellung geben. Ein Grove, (ohne Nebenschliessung); Elektrotonus aufsteigend; HAUY'sche Astasie; Länge der ableitenden Strecke 5 $^{mm}$; Anelektrotonusstrom. Sobald beobachtet werden kann, zeigt sich der Spiegel bei 170 $^{sc}$ in vorschreitender Bewegung begriffen. Nach etwa 3 Minuten ist das Maximum bei 211 erreicht; die [447] Kette wird geöffnet, und nach einigen Minuten in umgekehrter Richtung geschlossen. Katelektrotonusstrom kann zuerst beobachtet werden bei 155; sinkt in wenigen Minuten auf 90; nach längerer Zeit wird der Spiegel, noch immer langsam sinkend, auf 66 gefunden.

In einem Versuch mit vier Grove (ohne Nebenschliessung und ohne HAUY'sche Astasie) wuchs der Anelektrotonusstrom von 122 $^{sc}$ bis 333, also fast um das doppelte; der Katelektrotonusstrom sank von 145 sehr rasch bis 80, dann langsamer bis 35, wo die Beobachtung aufhörte.

Das Wachsen des Anelektrotonusstromes kann, als Thatsache, nicht anders aufgefasst werden, als wie es im Obigen geschehen ist; das Sinken des Katelektrotonusstromes hingegen könnte auch daher rühren, dass der erregende Strom unbeständig wäre. Bringt man in den erregenden Kreis eine Bussole, so macht sich in der That, und zwar je stärker der Strom ist, um so schneller, eine Abnahme des Stromes bemerkbar. Wird der Strom im Nerven plötzlich umgekehrt, so erfolgt ein kleiner Sprung, dem eine Spur langsamen Wachsens folgt; der Strom bleibt aber schwächer, als er ursprünglich war. Der Sprung rührt wohl vornehmlich her von innerer Polarisation des Nerven; das langsame Wachsen deutet auf ein geringes Maass secundären Widerstandes, der sich zum Theil wenigstens als äusserer secundärer Widerstand dadurch kundgiebt, dass das Rücken der positiven Spitze, auch nach Aussen, einen positiven Sprung der Stromstärke zur Folge hat.

Vier Grove gaben z. B. im ersten Augenblick 118·5 $^{sc}$; nach 15′ war die Ablenkung auf 96 gesunken. Umlegen der Wippe bewirkt Sprung auf 104 und der Strom erhebt sich langsam auf 110. Schon der Vergleich dieser Zahlen mit den oben angeführten, welche den Ver-

lauf des Katelektrotonusstromes bei der gleichen Stromstärke erläutern, zeigt dass dieser Verlauf nicht füglich allein der Unbeständigkeit des erregenden Stromes zuzuschreiben sei; denn während letzterer nur um etwa $^1/_5$ seiner ursprünglichen Stärke sinkt, beträgt der Verlust des Katelektrotonusstromes über $^3/_4$. Dennoch hielt ich es für rathsam, diesen Punkt durch besonders darauf gerichtete Ver- [448] suche ausser Zweifel zu stellen, zu welchem Zweck ich zwei Wege einschlug.

Beide setzen voraus, dass in den Kreis des Elektrotonusstromes und in den des erregenden Stromes gleichzeitig Bussolen eingeschaltet sind und abgelesen werden. Die Beobachtungen an der letzteren Bussole übernahm Hr. Dr. Rosenthal. Zuerst gingen wir so zu Werke, dass wir alle viertel Minuten auf ein gegebenes Zeichen den Stand unserer Bussolen ablasen. Es wäre nutzlos, die sämmtlichen Zahlen der sechs so angestellten Versuchsreihen, wobei 2, 4, 5, 10 Grove in auf- und in absteigender Richtung zur Anwendung kamen, hier abzudrucken. Es genüge zu bemerken, dass stets das Sinken des Katelektrotonusstromes unverhältnissmässig schneller erfolgte, als das des erregenden. Bei 4 Grove und absteigendem Strome sank dieser in 4 Minuten beispielsweise von 45 auf 41; der Katelektrotonusstrom gleichzeitig von 65 auf 22; jener um $^1/_{11}$, dieser um $^2/_3$ seiner ursprünglichen Grösse u. s. f. Das zweite Verfahren bestand darin, dass, während ich alle viertel Minuten ablas, Hr. Dr. Rosenthal bemüht war, den erregenden Strom mittels eines Rheochords, das er als Rheostat handhabte, beständig zu erhalten. Obschon dies in vier Versuchsreihen, gleichfalls bei beiden Stromrichtungen, so gelang, dass die Stromstärke nur um wenige Hundertel auf und ab schwankte, zeigte doch der Katelektrotonusstrom dieselbe schnelle Abnahme, welche also im Wesen des Vorganges begründet ist.

Das Maximum des Anelektrotonusstromes liegt immer weit über dem erstbeobachteten Werthe des Katelektrotonusstromes; dagegen der erstbeobachtete Werth des Anelektrotonusstromes bald über, bald unter dem entsprechenden Werthe des Katelektrotonusstromes lag, wie dies die Curven $k_1 k_2$, $k^1 k^2$ erläutern. Der höhere Anfangswerth des Katelektrotonusstromes kam auch vor, wenn der Katelektrotonus nach dem Anelektrotonus beobachtet wurde, so dass eine Täuschung durch die Ermüdung des Nerven ausgeschlossen scheint. Dies Verhalten ist im Widerspruch mit der älteren Erfahrung, wonach beim Tetanisiren mittels des Poggendorff'schen Inversors, wobei doch nur die Anfangswerthe der Ströme zur Wirkung kommen, abgesehen [449] von der negativen Schwankung, stets der Anelektrotonus die Oberhand hat,[1] und es bedarf weiterer Versuche,

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 470.

mit einer Bussole auch im erregenden Kreise, um diesen Punkt aufzuklären, wie denn überhaupt hinsichtlich der feineren Züge des zeitlichen Verlaufes der Elektrotonusströme noch Alles zu thun ist, ja die Untersuchung dieser Ströme auch in anderer Richtung jetzt so gut wie von vorn anzufangen hat.

Um aber die Bedeutung der über den Verlauf der Elektrotonusströme ermittelten Thatsache mit einem Worte zu beleuchten, genügt es auszusprechen, dass dieser Verlauf im Wesentlichen übereinstimmt mit dem der von Hrn. Pflüger erforschten Erregbarkeitsveränderungen im Elektrotonus.

Vom absteigenden extrapolaren Anelektrotonus durch schwächere polarisirende Ströme sagt Hr. Pflüger:[1] „Erstaunt bemerken wir, die „wir daran gewöhnt sind, die Bewegungserscheinungen an den Nerven „mit den Sinnen unfassbarer Geschwindigkeit vor sich gehen zu sehen, „wie der Anelectrotonus nicht urplötzlich bei der Schliessung .... vor„handen ist, sondern nur sehr langsam anschwillt, und nach vielen „Secunden erst sein Maximum erreicht.“ Wenn er hinzufügt: „Ich „habe nicht selten bei schneller Reizung nach erfolgter Schliessungs„zuckung keine Spur einer veränderten Erregbarkeit nachweisen können, „die nach 30 Secunden oder 1 Minute doch sehr stark herabgesetzt war“, — so ist dies wohl nicht so zu verstehen, als sei die Erregbarkeitsveränderung im ersten Augenblick Null, sondern nur so, als sei sie unter den gegebenen Umständen gerade nicht nachweisbar gewesen. Denn dass sie mit gleicher Geschwindigkeit von der Anode absteige, wie die den Anelektrotonus erzeugende Veränderung des Nerven, also zugleich, nach Hrn. Helmholtz,[2] wie der Innervationsvorgang, hat Hr. Pflüger selber durch einen ebenso einfachen wie sinn- [450] reichen Versuch unmittelbar dargethan.[3] Ebenso heisst es vom aufsteigenden Anelektrotonus, er wachse sehr langsam nach der Schliessung des polarisirenden Stromes an. „Darum wurde bei allen vorhergehenden Versuchen ... stets 25 Se„kunden nach der Schliessung gewartet, ehe die Reizung vorgenommen „worden ist ... Während der Schliessung nimmt dann später der An„elektrotonus bei fortdauernder Schliessung in seiner Wirkung wieder „langsam ab“.[4]

Im Gegensatz hierzu wird der zeitliche Verlauf des absteigenden Katelektrotonus so geschildert: „Bei der Schliessung des polarisirenden

---

[1] Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. Berlin 1859. S. 319.
[2] Monatsberichte der Berliner Akademie, 1854. S. 329. 330.
[3] A. a. O. S. 442 ff.
[4] A. a. O. S. 390.

„Stromes erscheint mit den Sinnen entschwindender Geschwindigkeit der „absteigende Katelectrotonus und wächst dann noch rasch um ein Geringes an. Bei fortdauernder Schliessung nimmt er ganz allmählich und „sehr langsam wieder ab ...“[1] Ebenso der Verlauf des aufsteigenden Katelektrotonus: „Soviel lässt sich ... bereits ohne alle feineren Hülfs„mittel wahrnehmen, dass sehr kurze Zeit nach erfolgter Schliessungs„zuckung der katelectrotonische Zustand noch nicht sein Maximum „erreicht hat, da man gewöhnlich bei dauernder Schliessung anfänglich keine so bedeutende Verstärkung der Zuckung wahrnimmt „als nachher. Gleichwohl aber ist dieser Unterschied klein und durch„aus nicht besonders auffallend“.[2]

Der Parallelismus der Erscheinungen ist für den Anelektrotonus, wie man sieht, vollständig; der Anelektrotonusstrom und die Verminderung der Erregbarkeit erreichen beide mit ziemlicher Langsamkeit ein Maximum und sinken allmählich wieder davon herab. Was den Katelektrotonus betrifft, so scheint dagegen eine Abweichung des zeitlichen Verlaufes des Stromes und der Erregbarkeitsveränderung darin zu liegen, dass während der Katelektrotonusstrom von uns stets bereits sinkend angetroffen wurde, Hr. Pflüger die Erhöhung der Erregbarkeit während der ersten Augenblicke der Schliessung noch um [451] eine kleine Grösse wachsen sah. Allein die Untersuchung auf die Erregbarkeitserhöhung kann innerhalb einer Secunde nach der Schliessung des polarisirenden Stromes vorgenommen werden, dagegen 8—10 Secunden verstreichen, ehe die Bussole den Verlauf der Stromstärke ohne Weiteres erkennen lässt.[3] Anstatt bereits eine Abweichung des Ganges der elektromotorischen Erscheinungen von dem der Erregbarkeitsveränderungen im Katelektrotonus anzuerkennen, dürfen wir also bis auf Weiteres annehmen, dass unsere Beobachtung minder vollständig ist, als die des Hrn. Pflüger. Der Gang des Katelektrotonusstromes ist vielleicht der, dass nach einer Zeit, die hier ausser Acht bleibt, der Strom in endlicher Stärke vorhanden ist, um eine kleine Grösse ansteigt, sofort ein Maximum erreicht, und darauf rasch sinkt; das letztere Stadium wäre es, worin er stets bereits von uns angetroffen wurde. Das punktirte Curvenstück $k^0 k^1$ zwischen $s$ und $t'$ in Fig. 6 würde diesen Gang darstellen, wie das entsprechende Stück $a_0 a_1$ den Gang des Anelektrotonusstromes in demselben Zeitraum. Wie ein

[1] A. a. O. S. 349.

[2] A. a. O. S. 265.

[3] [Diese Versuche sind noch vor Erfindung des aperiodischen Magnetes angestellt, mit dessen Hülfe jetzt vielleicht das Wachsen des Katelektrotonusstromes in den ersten Secunden nach der Schliessung aufgefasst werden könnte.]

Blick auf die Figur zeigt, hat diese Annahme den Vortheil, dass dabei der oben bezeichnete Widerspruch zwischen unseren jetzigen und den mit dem POGGENDORFF'schen Inversor gemachten Erfahrungen leicht zu lösen ist. Ist sie richtig, so würde der Verlauf beider Ströme somit doch mehr übereinstimmen, als es jetzt zuerst schien. Beide Ströme hätten danach ein Maximum, nur läge das des Katelektrotonusstromes viel tiefer und dem Schliessungsaugenblick viel näher, als das des Anelektrotonusstromes. Ja es wäre möglich, dass allein dem Katelektrotonusstrom wirklich ein Maximum zukäme. Das Herabsinken des Anelektrotonusstromes von seinem Maximum könnte so aufgefasst werden, als strebe dieser Strom asymptotisch einer Grenze zu, sänke aber wegen abnehmender Leistungsfähigkeit des Nerven und wegen der Unbeständigkeit des erregenden Stromes zuletzt schneller, als er sich jener Grenze nähere.

Diese und viele andere Fragen für den Augenblick zur Seite lassend, schritt ich endlich dazu, die elektromotorische Kraft der Elektrotonusströme zu messen. Dies Unternehmen wird durch die jetzt erkannte Unbeständigkeit der Ströme sehr [452] erschwert, welche sich bei deren Compensiren im Wesentlichen ganz ebenso kundgiebt, und also nicht oder nur zu einem kleinen Theile von Polarisation oder von Widerstandsänderungen abgeleitet werden könnte. Dafür beschränkt sich aber unsere Aufgabe jetzt darauf, bei möglichst starkem erregenden Strom und möglichst kurzer ableitender Strecke das Maximum der Anelektrotonusstromkraft zu bestimmen, wobei uns jene Unbeständigkeit am wenigsten stört. Es wird genügen, wenn ich anführe, dass ich bei vier bis fünf Grove im erregenden Kreise (ohne Nebenschliessung), 15 $^{mm}$ langer abgeleiteter und etwa 2 $^{mm}$ langer ableitender Strecke mehrmals eine Kraft von über 0·5 Daniell beobachtet habe, wo nach dem Durchschneiden der ableitenden Strecke nur ± 1 $^{sc}$ Wirkung übrig blieb. Die untere Grenzkraft des Katelektrotonusstromes unter den nämlichen Umständen belief sich nur auf 0·05.

## §. VI. Von der Grösse der elektromotorischen Kraft der Drüsen.

Aus Versuchen, welche theils früher von mir,[1] theils neuerdings von Hrn. Dr. ROSENTHAL angestellt sind,[2] scheint zu folgen, dass zu den

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 9 ff. — Monatsberichte u. s. w. 1851. S. 380; — MOLESCHOTT's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. Bd. II. S. 138.

[2] Fortschritte der Physik u. s. w. 1860. S. 545. — Archiv für Anatomie u. s. w.

Organen der elektromotorischen Fische und den Muskeln und Nerven auch die Drüsen als elektromotorische Organe zu rechnen sind. Wo absondernde Drüsen mosaikförmig auf einer Fläche nebeneinander stehen, scheint diese Fläche der Sitz einer darauf senkrechten elektromotorischen Kraft zu sein, welche nach meinen Versuchen bei der äusseren Haut der Amphibien und nach Hrn. Rosenthal bei der Magen- und Darmschleimhaut von der freien Fläche in's Innere gerichtet ist.

Es war von Wichtigkeit, die elektromotorische Kraft, welche diesen neuen thierisch-elektrischen Strömen zu Grunde liegt, [453] mit der Kraft der Muskeln und Nerven zu vergleichen. Dies geschah mittels einer der von Hrn. Rosenthal a. a. O. beschriebenen ganz ähnlichen Vorrichtung. Ein Stück Froschhaut wurde zwischen zwei Glimmerblätter gelegt, welche an gegenüberliegenden Stellen von einem kreisrunden Loche von $2 \cdot 5^{\mathrm{mm}}$ Durchmesser durchbohrt waren; durch dies Loch wurde jederseits ein Thonzapfen gegen die Haut gepresst, welcher der vorderen Fläche der Thonschilder angeknetet war.

Es zeigte sich zunächst, dass bis zu einer gewissen Grenze die Kraft mit der Grösse des Hautstückes rasch wächst. Ein kleines nur eben das Loch deckendes Stück gab eine Kraft von nur etwa 0·004; ein grösseres, unmittelbar neben jenem geschnittenes etwa die zehnfache Kraft. Auch am Rande eines grösseren Stückes erhält man kleinere Werthe. Diese Ergebnisse entsprechen völlig den Forderungen der von Hrn. Dr. Rosenthal entwickelten Theorie. Die grösste Kraft, die ich so beobachtet habe, betrug 0·051. Die hier vorkommenden Kräfte sind also von gleicher Ordnung mit denen zwischen Längs- und Querschnitt der Muskeln, obschon sie die der dickeren Muskeln nicht erreichen.

Die Kraft der Magenschleimhaut des Frosches fand ich nur = 0·012.

## §. VII. Von der Grösse der elektromotorischen Kraft einiger Flüssigkeitsketten.

An sich haben die mitgetheilten Messungen keine grosse Bedeutung. Ob den thierisch-elektrischen Strömen, wie wir sie ableiten, ein Spannungsunterschied von so vielen Tausendteln oder so vielen Zehnteln eines Daniells zu Grunde liege, kann gleichgültig erscheinen, da ich durch vollkommen scharfe Schlüsse gezeigt habe, dass aus der Kleinheit der nach aussen wirksamen elektromotorischen Kraft nicht auf die Kleinheit der im Inneren thätigen zu schliessen sei, vielmehr diese fast beliebig

---

1865. S. 301. — [Vergl. Roeber in demselben Archiv, 1869. S. 633; — Engelmann in Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie. 1872. Bd. VI. S. 97.]

grösser sein könne.[1] Nicht ihrer absoluten Grösse verdanken die elektrischen Erscheinungen der Muskeln, Nerven und Drüsen [454] ihre Bedeutung, sondern den Beziehungen zu den übrigen Functionen, welche sich in ihren Gesetzen und in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Umständen aussprechen.

Gegenüber der hergebrachten Vorstellung, wonach es sich bei jenen Erscheinungen um kaum wahrnehmbare Grössen handelt, überrascht es jetzt zu finden, dass in einem Kreise von hinlänglichem Widerstand eine Säule aus sieben Gastroknemien einen Daniell ersetzen würde; einen höheren Werth aber werden unsere Zahlen erst erhalten, wenn sie uns hinsichtlich des Ursprunges und der Bedeutung der thierisch-elektrischen Ströme zu neuen Einsichten verhelfen.

Wenn sich z. B. auf Grund unserer Messungen ergäbe, dass die höchste aus einer bestimmten Ursache entspringende elektromotorische Kraft unter der Kraft der thierischen Erreger bliebe, so wäre dadurch ohne Weiteres der Beweis geführt, dass diese Ursache die der thierisch-elektrischen Ströme nicht sei.

Von den bekannten Ursachen galvanischer Ströme sind es nur drei, an welche man, behufs der Erklärung der elektromotorischen Kraft der Nerven, Muskeln u. s. w., denken kann. Dies ist 1. die, welche die Ströme in den Ketten aus mehreren Flüssigkeiten, 2. die, welche die Wild'schen Hydro-Thermoströme, 3. die, welche die Quincke'schen Diaphragmaströme erzeugt. Die elektromotorische Kraft der beiden letzteren Arten von Strömen ist durch deren Entdecker sogleich in mehreren Fällen genau bestimmt worden; dagegen über die der ersten Art besitzen wir fast gar keine Nachrichten. Abgesehen von einer Angabe des Hrn. Scoutetten über das was er die elektromotorische Kraft zwischen arteriellem und venösem Blute nennt (s. unten S. 282. Anm. 2), sind mir keine anderen Kraftmessungen an Flüssigkeitsketten bekannt geworden, als zwei von Hrn. Wild bei Gelegenheit seiner Versuche über Hydro-Thermoströme veröffentlichte.[2] Es blieb mir, um die vorige Untersuchung in der angedeuteten Richtung fruchtbar zu machen, also nichts übrig, als hier selber Hand an's Werk zu legen. Dazu boten, was die Messung der Kräfte betrifft, mein Verfahren und meine [455] im Vorigen angewendeten Vorrichtungen das bequemste Mittel dar. Es handelte sich nur noch darum, die hier zweckmässigste Gestalt der Flüssigkeitsketten festzustellen.

Da ich eine sehr grosse Anzahl von Versuchen vor mir sah, konnte

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 688 ff.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1858. Bd. CIII. S. 353.

ich Hrn. Wild's Anordnung nicht wohl annehmen, welche unstreitig die vollkommenste, aber im Gebrauch etwas zu umständlich ist, wenn es darauf ankommt, zahlreiche Versuche rasch hintereinander abzumachen.

Ich versuchte zuerst, woran ja auch Hr. Wild gedacht hatte, die von Hrn. Magnus für elektrolytische Versuche angegebene Vorrichtung,[1] die mir letzterer freundlichst lieh, für meine Zwecke zu verwenden. Sie besteht aus einer Anzahl viereckiger Spiegelplatten, deren jede an einer Seite mit einem etwa halbkreisförmigen Ausschnitt versehen ist. Indem die senkrecht gestellten Platten mit den nach oben gekehrten Ausschnitten aufeinandergepasst und mittels Schrauben zusammengepresst werden, entsteht eine Rinne; durch zwei volle Platten zu beiden Enden des Satzes wird die Rinne zum Gefäss begrenzt, und durch poröse Scheidewände, die man zwischen die Platten klemmt, das Gefäss in Zellen getheilt, wenn man will in so viele, als ausgeschnittene Platten in seinen Bau eingehen. Mein Plan war, wie ich kaum zu sagen brauche, diese Zellen mit den verschiedenen Flüssigkeiten zu füllen, und die zu beobachtende elektromotorische Wechselwirkung durch die porösen Scheidewände hindurch stattfinden zu lassen. Als poröse Scheidewand nahm ich das hier käufliche Pergamentpapier, welches auch nach längster Zeit destillirtem Wasser keine saure Reaction mittheilte. Als ich aber mit dieser Vorrichtung zu arbeiten anfing, stiess ich auf die sonderbare Thatsache, dass die Kraft der Flüssigkeitsketten von einer kleinen Grösse langsam bis zu einem Maximum wuchs und dann wieder sank. Gegenversuche mit denselben Ketten ohne poröse Scheidewand nach der gleich zu beschreibenden Methode angestellt, wobei kein irgend vergleichbares Maximum eintrat, bestätigten mich in dem Verdacht, dass eine Störung [456] durch jene Wand obwalte. Da das allmähliche Durchdringen des Pergaments nur eine Verminderung des Widerstandes, folglich nur eine Vermehrung der Stromstärke, nicht der Kraft, mit sich bringen kann, so bleibt es vorläufig unverständlich, wie die Membran die Kraft beeinflusse. Dem sei wie ihm wolle, ich hielt es danach für gerathen, auf den Gebrauch der Magnus'schen Vorrichtung und jeder anderen, wobei die Flüssigkeiten anders als durch ihre Dichte von einander getrennt sind, bei diesen Versuchen zu verzichten, und so entschied ich mich zuletzt für folgende Anordnung, die sich jedenfalls durch Einfachheit und Bequemlichkeit empfahl, wenn sie auch auf strenge Erfüllung aller hier zu stellenden Bedingungen keinen Anspruch macht.

Ich beschaffte eine hinreichende Anzahl cylindrischer (durch Ab-

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1857. Bd. CII. S. 25. 26.

schneiden von Flaschen hergerichteter) Gläser, von etwa 35 mm Tiefe und 50 mm Durchmesser. Diese wurden in eine Reihe gestellt, mit den Flüssigkeiten gefüllt, und durch 12 mm weite Heberröhren mit einander verbunden, die mit der minder dichten der beiden Flüssigkeiten gefüllt waren.

Um die Röhren, mit der Flüssigkeit gefüllt, in die zu verbindenden Gefässe umzustürzen, wurden ihre beiden Oeffnungen mit Scheiben aus Wachspapier oder Glimmer verschlossen;[1] die Oeffnungen müssen dazu in Einer Ebene abgeschliffen sein. Nach dem Eintauchen der Röhre pflegt die Scheibe auf Seiten der mit der Flüssigkeit in der Röhre gleichartigen Flüssigkeit, je nachdem sie aus Wachspapier oder aus Glimmer besteht, fortzuschwimmen oder abzufallen. Die Scheibe, welche die beiden ungleichartigen Flüssigkeiten von einander trennt, wird darauf durch Verschieben in ihrer Ebene mit Vorsicht, um möglichst wenig Strömungen zu erregen, entfernt; doch kann eine so scharfe Grenze zwischen den beiden Flüssigkeiten, wie Hr. Wild sie beschreibt, dabei freilich nicht erhalten werden.

Die beiden letzten Gefässe der Reihe enthielten stets gesättigte schwefelsaure Zinkoxydlösung, in welche verquickte Zinkplatten als Enden des Messkreises tauchten. Wegen der [457] grossen Dichte der Zinklösung (1·441 bei 14·4° C.) musste stets das darin tauchende Rohr mit der Flüssigkeit des nächsten Gefässes gefüllt werden. Da durch die Verunreinigung der Zinklösung mit dieser Flüssigkeit die Gleichartigkeit und Unpolarisirbarkeit der Vorrichtung gefährdet worden wäre, so wurde noch jederseits vor dem Endgefäss ein zweites mit Zinklösung gefülltes Gefäss angebracht, in welches das Rohr mit der anderen Flüssigkeit tauchte. Oft war diese jederseits dieselbe; sie war dann die 'zuleitende' Flüssigkeit (A) im Sinne Fechner's, und zwischen den beiden damit gefüllten Gefässen folgten die Gefässe mit den beiden 'erregenden' Flüssigkeiten (B und C),[2] so dass die vollständige Anordnung acht durch sieben

---

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 4.

[2] Ueber die Ausdrücke „zuleitende Flüssigkeit“ und „erregende Flüssigkeiten“ vergl. Fechner in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 5. Sie sind theoretisch falsch, wie Hr. Fechner selber sehr gut wusste, insofern die zuleitende Flüssigkeit auch bei der Erregung betheiligt ist, und jede der beiden erregenden Flüssigkeiten mit gleichem Erfolge zur zuleitenden gemacht werden kann, dadurch, dass man sie in zwei Massen vertheilt, und zwischen diese die stromprüfende Vorrichtung einschaltet. Um aber schnell ein deutliches Bild von der Anordnung des Versuches zu erwecken, sind jene Ausdrücke gut brauchbar, und sie mögen deshalb beibehalten werden.

Heberröhren verbundene Gefässe in sich schloss; wenn Z die Zinklösung bezeichnet, nach dem Schema

Z, Z, A, B, C, A, Z, Z.

In anderen Fällen war die Zinklösung selber die zuleitende Flüssigkeit, wo dann zwei Gefässe und Heberröhren fortfielen.

Von grosser praktischer Wichtigkeit bei Anstellung solcher Versuche ist der scheinbar unbedeutende Umstand, dass alle Gefässe genau gleiche Höhe haben. Sind sie ungleich hoch, so gleitet leicht die Heberröhre in das niedrigere der beiden damit überbrückten Gefässe, und oft ist dann der Versuch dahin.

Die Dichte bestimmte ich theils mittels eines Geissler'schen Araeometers, theils, wenn ich nur über kleine Mengen gebot, mittels des Tausendgranfläschchens. Die Stoffe waren die reinsten in Berlin käuflichen; das Chlornatrium Stassfurter Steinsalz. Die Temperatur während der Zeit, wo ich diese [458] Versuche anstellte, war meist eine hohe, zwischen 22·5 und 30° C.

In den folgenden Gleichungen, welche die Ergebnisse der Versuche kurz aussprechen, steht im linken Gliede die Combination, welche die rechts befindliche Kraft geliefert hat. Die durch einen senkrechten Strich getrennten chemischen Zeichen sind die der Stoffe, die mit einander elektromotorisch wirkten; A | B bedeutet die aus der Wechselwirkung von A und B entspringende Kraft, ohne Rücksicht darauf, ob die Stoffe A und B Glieder einer der von Hrn. Wild und im Verfolg seiner Versuche von Hrn. Schmidt[1] ermittelten Spannungsreihen sind. Die gemessene Kraft ist gleich der Resultirenden oder der algebraischen Summe aller jener Einzelwirkungen, deren Symbole demgemäss durch Pluszeichen verknüpft sind. Da die Termen, welche die elektromotorische Wirkung zwischen der Zinklösung und der zuleitenden Flüssigkeit A ausdrücken, einander gleich und entgegengesetzt sind, so sind sie weggelassen, um die Formeln nicht unnütz zu verlängern. Die Richtung des Stromes ist stets in der Kette von links nach rechts. Die Zahlen unter- (einige Mal ober-) halb der Flüssigkeiten bedeuten die Dichte, oder das Verhältniss, in dem die Flüssigkeit dem Volum nach mit Wasser verdünnt worden; wo keine Angabe der Art vorhanden ist, war die Flüssigkeit gesättigt.

Ich begann mit Wiederholung von Hrn. Wild's beiden Messungen, um zu sehen, wie die meinigen damit stimmen würden. Seine Bestimmungen lauten in der eben angegebenen Schreibweise

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CIX. S. 106.

$$(1)\quad \underset{1\cdot 10}{CuSO_4} \mid \underbrace{KNO_6 + KNO_6}_{1\cdot 07} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot 05} \mid \underset{1\cdot 10}{CuSO_4} = 0\cdot 00997$$

$$(2)\quad \underset{1\cdot 20}{ZnSO_4} \mid \underbrace{HSO_4 + HSO_4}_{1\cdot 05} \mid \underbrace{CuSO_4 + CuSO_4}_{1\cdot 10} \mid \underset{1\cdot 20}{ZnSO_4} = 0\cdot 00864$$ [1]

Ich fand die erste Kraft = 0·01120 = 0·00997 + 0·00123,
die zweite Kraft = 0·00762 = 0·00864 — 0·00102.

[459] Der Unterschied mag gross erscheinen, da er in beiden Fällen sich auf etwa 12 % der WILD'schen Zahlen beläuft. Indessen will bedacht sein, dass Hr. WILD bei 20, ich bei fast 30° C. arbeitete, und dass, wie er selber hervorhebt, die kleinsten Verunreinigungen der Stoffe einen Einfluss auf die Kraft üben.[2]

Da ich wissen wollte, ob die Flüssigkeitsketten hinreichende Kraft besitzen, um sie irgendwie zur Erklärung der thierisch-elektrischen Ströme zu verwenden, begann ich mit der Messung der Kraft derjenigen Ketten, welche von früheren Forschern als besonders wirksam bezeichnet worden sind.

Unter allen Flüssigkeitsketten an Kraft obenan stellt Hr. FECHNER, der in diesem Gebiete wohl die weitesten Erfahrungen gesammelt hat, die Combinationen

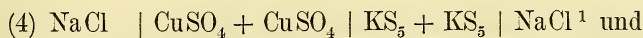
---

[1] WILD, a. a. O. S. 384. 410. — Bei Wiederholung des Versuches (2) folgte jederseits auf das Gefäss mit der verdünnten noch ein Gefäss mit gesättigter Zinklösung, welches erst die verquickten Zinkelektroden enthielt.

[2] Hier mag angeführt werden, dass ich auch die Kraft der BECQUEREL'schen Säure-Alkali-Kette

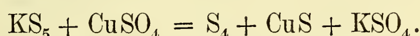
$$(3)\quad Pt \mid \underbrace{KO + KO}_{1\cdot 320} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot 185} \mid Pt$$

gelegentlich gemessen, und erheblich grösser gefunden habe, als sie von einigen Anderen angegeben ist. Nach Hrn. POGGENDORFF, der concentrirtere Flüssigkeiten als ich anwendete, ist sie 0·737 (POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 364; — Vergl. WIEDEMANN, die Lehre vom Galvanismus u. s. w. Bd. I. 1861. S. 225 [1872. S. 373.]), nach Hrn. JOULE sogar nur 0·31 (The Philosophical Magazine etc. 1844. t. XXIV. p. 113). LENZ und SAWELJEFF geben vier Bestimmungen, welche wenig Vertrauen erwecken, da sie von 0·470 bis 1·272 schwanken (Bulletin de l'Académie de St. Pétersbourg. 1844. t. V. p. 1; — POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1846. Bd. LXVII. S. 512. 513). Doch schliesst sich meine Zahl gerade der letzten am besten an. Ich fand es nämlich nöthig, um die Kraft jener Kette zu compensiren, statt eines Daniells deren zwei als Maasskette zu nehmen, und ausserdem den langen Compensator mit einem dünneren Platindrahte zu bespannen. Die Kraft ergab sich dergestalt zu 1·152. Dass dieselbe auch bei offenem Kreise rasch sinkt, hat bereits Hr. POGGENDORFF gezeigt, und kann ich bestätigen.


(4) $NaCl \mid CuSO_4 + CuSO_4 \mid KS_5 + KS_5 \mid NaCl$[1] und


(5) $NH_4Cl \mid CuSO_4 + CuSO_4 \mid KS_5 + KS_5 \mid NH_4Cl$.[2]

[460] Es zeigte sich wirklich, dass diese Ketten von sehr bedeutender Kraft sind. Leider ist diese zugleich so unbeständig, dass sie sich kaum messen lässt. Das Bild der Scale flattert hin und her, wobei jedoch im Allgemeinen die Kraft sinkt; eine geringe Bewegung im Schwefellebergefäss nahe der Mündung des mit Kupferlösung gefüllten Heberrohres, wo sich ein Niederschlag bildet, zieht die heftigsten Schwankungen, bald im einen, bald im anderen Sinne, nach sich. So viel ich sehen konnte, wogte die Kraft der ersten Kette auf und ab zwischen 0·290 und 0·372, die der zweiten zwischen 0·297 und 0·349. Diese Werthe fallen, wie sich zeigen wird, im Vergleich zu denen, welche die meisten ähnlichen Flüssigkeitsketten liefern, so aus der Ordnung, dass ich vermuthe, es handle sich dabei um eine Wirkung anderer Art. Bei der Wechselwirkung des Kupfervitriols und der Schwefelleber entstehen Schwefel, Schwefelkupfer und schwefelsaures Kali:


$$KS_5 + CuSO_4 = S_4 + CuS + KSO_4.$$

Es liegt nahe sich zu denken, dass die metallisch leitenden Schwefelkupfertheilchen bei ihrer Entstehung auf Seiten der Kupferlösung und der Schwefelleber mit verschiedenen Flüssigkeiten in Berührung sind. Sie würden dann elektromotorisch wirken, wie eine auf der einen Seite mit Säure, auf der anderen mit Alkali benetzte metallische Zwischenplatte; und dass so im Allgemeinen eine grössere elektromotorische Kraft entstehe, als durch Flüssigkeiten allein, ist bekannt.[3] Mit dieser Erklärung stimmt die auffallend heftige Wirkung, die eine Erschütterung des Niederschlages auf die Kraft übt. Durch Störung der Orientirung der Zwischenplättchen könnte die Erschütterung negativ, positiv dadurch wirken, dass Zwischenplättchen, welche, von gleichartiger Flüssigkeit bespült, nicht mehr primär elektromotorisch thätig, aber durch den schlecht compensirten Strom polarisirt sind, aus ihrer Lage gebracht würden.

Wie dem auch sei, sehr unerwartet wird gewiss Vielen wie mir die aus dem Folgenden sich ergebende Schwäche der aus concentrirten Säuren, Alkalien und Salzlösungen gebildeten [461] Flüssigkeitsketten sein, welche nächst den Schwefelleberketten bisher für die wirksamsten galten,[4] und stets als Typen der Erscheinung angeführt wurden.

---

[1] Wegen der beinahe gleichen Dichte der gesättigten Kupfer- und der Steinsalzlösung wurde das mit der Kupferlösung gefüllte Heberrohr auf Seiten des Steinsalzes mit Blase überbunden, die in Steinsalzlösung gesotten war.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1839. Bd. XLVIII. S. 14. 22. 23. 248. 254.

[3] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 135. 210. 211.

[4] Vergl. unter anderen Fechner a. a. O. S. 3. 4. 13. 20. 253.

$$(6)\ KNO_6 \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot185} \mid \underbrace{KO + KO}_{1\cdot389} \mid KNO_6 \qquad = 0\cdot045$$

$$(7)\ KNO_6 \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot185} \mid \underbrace{KO + KO}_{1/4;\ 1\cdot130} \mid KNO_6 \qquad = 0\cdot062$$

$$(8)\ \underset{1\cdot185}{NO_5} \mid NaCl + NaCl \mid KNO_6 + KNO_6 \mid \underset{1\cdot185}{NO_5} \qquad = 0\cdot009$$

$$(9)\ NaCl \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot185} \mid \underbrace{KO + KO}_{1\cdot389} \mid NaCl \qquad = 0\cdot006$$

$$(10)\ NaCl \mid \underbrace{HSO_4 + HSO_4}_{1\cdot225} \mid KNO_6 + KNO_6 \mid NaCl \qquad = 0\cdot003$$

$$(11)\ KNO_6 \mid \underbrace{HSO_4 + HSO_4}_{1\cdot225} \mid NH_4Cl + NH_4Cl \mid KNO_6 \qquad = 0\cdot015$$

Hier schliessen sich noch die bereits oben S. 266 mitgetheilten Gleichungen (1) und (2) für die Wild'schen Combinationen an.

Die Richtung des Stromes habe ich in den Ketten (6), (7), (8), (11) umgekehrt gefunden wie Hr. Fechner. Solche Umkehr der Kraft, bei dem Namen nach gleicher Zusammensetzung der Flüssigkeitsketten, scheint nichts Ungewöhnliches zu sein, und Nobili sagt schon, dass er mit Kalilösung oft den entgegengesetzten Erfolg beobachtet habe, wie mit einem Stück feuchten Aetzkali's.[1] Ich selber habe schon vor langer Zeit einmal den Strom einer Kette aus Essigsäure und kohlensaurem Natron das eine Mal in der einen, das andere Mal in der anderen Richtung fliessen sehen,[2] und wir werden im Folgenden noch andere Beispiele desselben Verhaltens kennen lernen.

Die Kraft der Flüssigkeitsketten ist, wenigstens bei meiner Anordnung, keineswegs beständig, sondern, auch wenn sie offen stehen, im Sinken begriffen; zuweilen kommt erst ein geringes Wachsen der Kraft vor.

[462] Welche Rolle in diesen Erscheinungen die örtlichen Temperaturunterschiede spielen, wie sie durch die chemische Wechselwirkung z. B. des Kali's und der Salpetersäure bedingt werden, ist seit Hrn. Wild's Nachweis der Hydro-Thermoströme eine offene Frage, die hier unerörtert bleibt.

Hr. Fechner scheint als Regel anzunehmen, dass die Kraft der Flüssigkeitsketten mit der Concentration der Flüssigkeiten gleichen Schritt halte.[3] Hr. Wild lässt sie sich zwar mit der Concentration allgemein ändern, hat aber wirklich beobachtet auch nur den Fall, dass die Kraft mit abneh-

---

[1] Memorie ed Osservazioni edite ed inedite. Firenze 1834. t. I. p. 76.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 271. Anm. 2.

[3] A. a. O. S. 236. 237.

mender Concentration sank. Abnahme der Kraft mit der Concentration wird im Folgenden öfter vorkommen. In den obigen Versuchen zeigt sich jedoch schon ein Beispiel auch des entgegengesetzten Erfolges, indem die Kette (7) die (6) bedeutend an Kraft übertrifft, obschon die in (6) angewendete Kalilösung in (7) mit dem dreifachen Volum Wassers verdünnt war. Ein viel auffallenderes Beispiel eines solchen Verhaltens aber liefern die folgenden Versuche.

Ich wollte wissen, wie sich die elektromotorische Kraft der Salpetersäure-Kali-Kette gestalten würde, wenn ich als zuleitende Flüssigkeit, statt gesättigter Salpeter- oder Kochsalzlösung, 0·75 procentige Kochsalzlösung oder den damit angekneteten Thon wie bei Ableitung des Muskelstromes anwendete. Der Thon wurde in Gestalt eines gekrümmten Stabes über das mit Zinklösung gefüllte Endgefäss und das nächste erregende Gefäss gebrückt, so dass er die Stelle des zuleitenden Gefässes vertrat. Ich erhielt zu meinem Erstaunen

$$(12)\ \text{Thon} \mid \underbrace{KO + KO}_{1\cdot389} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot185} \mid \text{Thon} = 0\cdot105$$

$$(13)\ \underset{0\cdot75\,\%}{NaCl} \mid \underbrace{KO + KO}_{1\cdot389} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot185} \mid \underset{0\cdot75\,\%}{NaCl} = 0\cdot148;\ 0\cdot131.$$

Mit anderen Worten, durch die äusserste Verdünnung der Chlornatriumlösung in der Kette (9), der die Combination (13) sonst völlig entspricht, wird die Kraft von 0·006 auf 0·148, d. h. auf mehr als das 24fache erhöht. Mit dem Thone fällt [463] die Kraft kleiner aus, vielleicht nur, weil beim Ankneten und Aufbewahren die Lösung sich etwas concentrirt. Beständig waren die Ketten (12) und (13) so wenig wie die früheren. Sehr bemerkenswerth ist, dass jetzt die Richtung des Stromes in der Kette die vom Kali zur Säure war, also die entgegengesetzte von der mit der gesättigten Kochsalzlösung. Es wird also gelegentlich nicht bloss die Grösse der Kraft, sondern auch ihr Sinn, durch die Concentration der Flüssigkeiten bedingt.

Wenn jetzt auch die erregenden Flüssigkeiten verdünnt wurden, sank allerdings wieder die Kraft:

$$(14)\ \text{Thon} \mid \underbrace{KO + KO}_{1/5;\ 1\cdot093} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1/5;\ 1\cdot035} \mid \text{Thon} = 0\cdot018$$

$$(15)\ \underset{0\cdot75\,\%}{NaCl} \mid \overbrace{KO + KO} \mid \overbrace{NO_5 + NO_5} \mid \underset{0\cdot75\,\%}{NaCl} = 0\cdot050$$

$$(16)\ \text{Thon} \mid \underbrace{KO + KO}_{1/10;\ 1\cdot04} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1/10;\ 1\cdot01} \mid \text{Thon} = 0\cdot003$$

$$(17)\ \underset{0\cdot75\,\%}{NaCl} \mid \overbrace{KO + KO} \mid \overbrace{NO_5 + NO_5} \mid \underset{0\cdot75\,\%}{NaCl} = 0\cdot024$$

Immerhin erschien sie bei der zehnfachen Verdünnung noch etwa viermal grösser als mit den concentrirten Säuren und der gesättigten Chlornatriumlösung.

Da die Verdünnung der Kochsalzlösung solche Erhöhung der Kraft lieferte, so versuchte ich, wie destillirtes Wasser an deren Stelle wirken würde. Destillirtes Wasser als Glied von Flüssigkeitsketten ist bisher nur wenig angewendet worden. Hr. Fechner bedauert, in seiner klassischen Abhandlung über diese Ketten, mit destillirtem Wasser nicht haben experimentiren zu können, weil er wegen des zu grossen Leitungswiderstandes, der dadurch in die Kette trat, bei Anwendung verschiedener, sonst sehr wirksamer Combinationen keinen bemerklichen Ausschlag erhielt.[1] Hr. Wild hat Hydro-Thermoströme mit destillirtem Wasser beobachtet, deren Kraft aber gleichfalls des zu grossen Widerstandes halber nicht ordentlich messen können.[2] Hr. Léon Foucault[3] und Hr. Becquerel (464) d. V.[4] haben zwar bereits Flüssigkeitsketten zusammengestellt, deren eines Glied destillirtes Wasser war, ohne, wie es scheint, durch dessen Widerstand behindert zu werden; da sie aber nicht die elektromotorische Kraft, sondern die Stromstärke berücksichtigten, musste ihnen die bemerkenswerthe Rolle entgehen, die das destillirte Wasser, nach meinen jetzigen Wahrnehmungen, als Glied von Flüssigkeitsketten spielt; und nicht anders erging es mir selber bei einigen früheren Versuchen, in denen ich destillirtes Wasser zur Bildung von Flüssigkeitsketten benutzte.[5] Um trotz dem Widerstand des destillirten Wassers scharfe Messungen zu erlangen, versah ich jetzt die Bussole mit der Hauy'schen Compensation (s. oben S. 242); alsdann war deren Empfindlichkeit für alle Fälle völlig ausreichend. Ich fand

$$(18)\quad HO \mid \underbrace{KO + KO}_{1\cdot389} \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1\cdot185} \mid HO = 0\cdot323;\ 0\cdot323;\ 0\cdot307.$$

Dies ist ein Werth, der nahe an den mit den Schwefelleberketten erhaltenen reicht. Er übertrifft fast 54 Mal den, welchen Salpetersäure und Kali zwischen gesättigter Kochsalzlösung, mehr als 7 Mal den, welchen sie zwischen Salpeterlösung, und noch immer mehr als 2 Mal den, welchen sie zwischen 0·75procentiger Kochsalzlösung liefern, d. h. den weitaus höchsten aller bisher beobachteten Kraftwerthe unbezweifelt ächter Flüssigkeitsketten. Auch hier war die Kraft sehr unbeständig,

---

[1] A. a. O. S. 255.

[2] A. a. O. S. 407.

[3] Comptes rendus etc. 17 Octobre 1853. t. XXXVII. p. 582.

[4] Annales de Chimie et de Physique. 1854. 3me Série. t. III. p. 396.

[5] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 270.

aber diesmal zeigte sich wenigstens ein Grund davon deutlich. Während nämlich die Kraft schnell sank, wuchs merkwürdigerweise die Stromstärke ebenso schnell. Offenbar verunreinigte sich das destillirte Wasser mit den angrenzenden Flüssigkeiten, Zinklösung, Kali und Salpetersäure; die minder scharfe Grenzfläche wurde der Sitz einer geringeren Kraft, aber der Kraftverlust wurde mehr als aufgewogen dadurch, dass das Wasser zugleich an Widerstand verlor.

Kette (18) schliesst sich, unter den obigen angeblich stärksten Ketten, den Fällen (6), (7) und (9) an; ich habe aber [465] auch in dem Fall (11) die zuleitende Salpeterlösung durch destillirtes Wasser ersetzt, und eine Erhöhung der Kraft um nahe das 15fache, zugleich jedoch deren Umkehr erhalten, denn ich fand

$$(19)\quad HO \mid NH_4Cl + NH_4Cl \mid \underbrace{HSO_4 + HSO_4}_{1 \cdot 225} \mid HO = 0 \cdot 215;\ 0 \cdot 221.$$

Fast stets, wenn ich destillirtes Wasser mit anderen Flüssigkeiten zur Kette zusammenstellte, fand ich eine im Vergleich zu der mit concentrirten Flüssigkeiten erhaltenen unerwartet hohe elektromotorische Kraft vor, wie folgende Uebersicht lehrt.

$$(20)\quad ZnSO_4 \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1 \cdot 185} \mid HO + HO \mid ZnSO_4 = 0 \cdot 167$$

$$(21)\quad ZnSO_4 \mid \underbrace{NO_5 + NO_5}_{1/256} \mid HO + HO \mid ZnSO_4 = 0 \cdot 094$$

$$(22)\quad ZnSO_4 \mid \underbrace{HSO_4 + HSO_4}_{1 \cdot 225} \mid HO + HO \mid ZnSO_4 = 0 \cdot 175$$

$$(23)\quad ZnSO_4 \mid \underbrace{ClH + ClH}_{1 \cdot 115} \mid HO + HO \mid ZnSO_4 = 0 \cdot 134$$

$$(24)\quad ZnSO_4 \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A}}_{1 \cdot 052} \mid HO + HO \mid ZnSO_4 = 0 \cdot 139$$

$$(25)\quad Thon \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A}}_{1 \cdot 052} \mid HO + HO \mid Thon = 0 \cdot 140$$

$$(26)\quad Thon \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A}}_{1/256} \mid HO + HO \mid Thon = 0 \cdot 067$$

$$(27)\quad Thon \mid \underbrace{\bar{L} + \bar{L}}_{1 \cdot 196} \mid HO + HO \mid Thon = 0 \cdot 153$$

$$(28)\quad Thon \mid \underbrace{\bar{L} + \bar{L}}_{1/256} \mid HO + HO \mid Thon = 0 \cdot 117$$

$$(29)\quad ZnSO_4 \mid HO + HO \mid \underbrace{KO + KO}_{1 \cdot 320} \mid ZnSO_4 = 0 \cdot 088$$

(30) $ZnSO_4$ | HO + HO | $\underbrace{KO + KO}_{1/256}$ | $ZnSO_4$ = 0·029

(31) $ZnSO_4$ | HO + HO | NaCl + NaCl | $ZnSO_4$ = 0·053; 0·047

(32) $ZnSO_4$ | HO + HO | $\underbrace{NaCl + NaCl}_{0{\cdot}75\,\%}$ | $ZnSO_4$ = 0·024

(33) $ZnSO_4$ | HO + HO | $\underbrace{NaCl + NaCl}_{1/256}$ | $ZnSO_4$ = 0·017

[466]

(34) $ZnSo_4$ | HO + HO | $\underbrace{CaCl + CaCl}_{1{\cdot}390}$ | $ZnSO_4$ = 0·025

(35) $ZnSO_4$ | Rohrzuckerlösung + Rohrzuckerlösung (1/3 Z. d. Gew. nach.) | HO + HO | $ZnSO_4$ = 0·023

(36) $ZnSO_4$ | Mimosenschleim + Mimosenschleim | HO + HO | $ZnSO_4$ = 0·041

(37) $ZnSO_4$ | Hühnereiweiss + Hühnereiweiss | HO + HO | $ZnSO_4$ = 0·001

(38) $ZnSO_4$ | $\underbrace{\text{Alkohol} + \text{Alkohol}}_{\text{von } 0{\cdot}809;\ 1/2}$ | HO + HO | $ZnSO_4$ = 0·020

(39) $ZnSO_4$ | $\underbrace{\text{Glycerin} + \text{Glycerin}}_{1/2}$ | HO + HO | $ZnSO_4$ = 0·013

(40) $ZnSO_4$ | Brunnenwasser + Brunnenwasser | HO + HO | $ZnSO_4$ = 0·003.

Man sieht, dass die Säuren, auch organische, selbst bei sehr grosser Verdünnung, mit destillirtem Wasser, gleichviel ob zwischen Zinklösung oder verdünnter Kochsalzlösung (Thon), ausserordentlich stark elektromotorisch wirken, während Kalihydratlösung verhältnissmässig schwach wirkt. Diesem Umstande verdankt wohl der den Lakmus bekanntlich stark röthende Mimosenschleim seine bedeutende Ueberlegenheit über ein anderes Colloïd, das alkalisch reagirende Hühnereiweiss. Wer den jetzt ruhenden Kampf der Contacttheorie und der Hypothese vom chemischen Ursprunge des galvanischen Stromes mit erlebte, wird sodann nicht ohne Interesse bemerkt haben, dass Zuckerlösung, Alkohol, Glycerin, mit Wasser verdünnt, um sie etwas besser leitend zu machen, und mit destillirtem Wasser und Zinklösung zur Kette verbunden, eine grössere elektromotorische Kraft liefern, als die meisten der gepriesenen Säure-Alkali-Ketten, deren seichte Untersuchung durch Hrn. Becquerel d. V. einst der Ausgangspunkt einer so heillosen Verwirrung ward.

Welche Rolle das destillirte Wasser hier im Besonderen spiele, darüber lässt sich vor der Hand nichts Sicheres aussagen; im Allgemeinen scheint wohl klar, dass es sich dabei [467] um nichts als um Hydratation handeln könne. Ich habe den Gegenstand nicht weiter verfolgt, dessen Ergründung ich für eine sehr schwierige Aufgabe halte, zu deren Bewältigung noch zahllose Versuche erforderlich sind, und ich muss mich, hinsichtlich der Lehre von den Flüssigkeitsketten an sich, damit begnügen, gezeigt zu haben, wie mittels der nach meiner Vorschrift zu einer blossen Längenmessung gewordenen elektromotorischen Kraftbestimmung für die Entwickelung dieser Lehre jetzt eine neue Bahn eröffnet ist.[1] Für meine Zwecke hatte ich vorläufig genug davon erfahren, und wir schreiten nun zur Anwendung dieser mehr allgemeinen Ermittelungen auf unsere besonderen Aufgaben.

## §. VIII. Von dem angeblichen Ursprunge der thierisch-elektrischen Ströme aus äusseren chemischen Ungleichartigkeiten.

Zuerst sollen unsere elektromotorischen Kraftmessungen uns dienen, gewissen immer wieder auftauchenden Verdächtigungen der thierisch-elektrischen Ströme hinsichtlich ihres Ursprunges einmal gründlich ein Ende zu bereiten.

Bekanntlich hat es seit Entdeckung dieser Ströme nie an Solchen gefehlt, die sich einer weisen Skepsis zu befleissigen glaubten, wenn sie in äusseren chemischen Ungleichartigkeiten der Muskeln und Nerven den einzigen und wahren Quell der elektromotorischen Kraft suchten. Namentlich französische Physiker huldigten dieser Meinung, ja sie erhielt in dem Bericht, den 1850 Hr. Pouillet im Namen der aus ihm, Hrn. Becquerel d. V., Hrn. Rayer, Despretz und Magendie zusammengesetzten Commission über einen Theil meiner Untersuchungen abstattete, gleichsam officiellen Ausdruck im Schoosse der Académie des Sciences. „*Dans l'état actuel des choses*", sagte Hr. Pouillet, „*la Commission n'a* „*pas été unanime pour tirer une conclusion définitive; elle se borne à dire* „*seulement que l'ensemble des phénomènes porte à regarder comme extrê-* „*mement probable que ces courants organiques ne sont pas l'effet d'une* „*action chimique extérieure, mais il serait bon d'en donner des preuves*

[1] [Hr. Worm Müller hat nach mir diese Bahn mit ausgezeichnetem Erfolg betreten. S. seine „Untersuchungen über Flüssigkeitsketten, Leipzig 1869." — Vergl. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1870. Bd. CXL. S. 114. 380.]

„*plus incontestables que celles qui ont été produites* [468] *jusqu'à ce jour.*"[1] Doch gab es damals schon für jeden Unbefangenen, wenn auch nicht für Hrn. Becquerel, völlig sichere Beweise dafür, dass die thierisch-elektrischen Ströme nicht im Wesentlichen von äusseren chemischen Ungleichartigkeiten entspringen können. Hr. Matteucci führte mit Recht als einen solchen Beweis an die Vervielfältigung der elektromotorischen Kraft seiner Muskelpräparate durch deren Anordnung zur Säule, und die Beständigkeit der Richtung des Stromes in solchen Säulen, gleichviel in welche Flüssigkeit er deren Enden tauchte, worauf wir unten (S. 284) noch zurückkommen werden.[2]

Ich selber war zwar auf die Erörterung dieser Frage nicht ausdrücklich eingegangen, aber unter den von mir beschriebenen Erscheinungen gab es viele, welche im gleichen Sinne Zeugniss ablegten. Nachdem ich gezeigt hatte, dass die verschiedenen Gewebe des Thierkörpers, Muskeln, Nerven, Sehnen, Haut, Knochen, zwischen Kochsalzlösung mit einander elektromotorisch unwirksam sind, reichte schon der Strom vom Längsschnitt zum natürlichen Querschnitt aus, um jene Vermuthung zu widerlegen. Noch deutlicher sprach dagegen der Strom zwischen den sehnigen Enden eines und desselben Muskels, z. B. zwischen Haupt- und Achillessehne eines Gastroknemius. Die schwachen Ströme des Längs- und des Querschnittes, das Gesetz der Spannweiten, die grössere elektromotorische Kraft längerer und dickerer Muskeln, die verhältnissmässige Unwirksamkeit anderer Gewebe beim Auflegen mit Längs- und Querschnitt nach Art der Muskeln und Nerven, liessen sich ebenso verwerthen. Der Muskelstrom fährt fort zu erscheinen, auch wenn zwischen Längsschnitt und Bausch eine quere Muskelscheibe, oder zwischen Querschnitt und Bausch ein Muskel der Länge nach angebracht wird. Hr. Pouillet bedauert in seinem Bericht, mich nicht ersucht zu haben, unter den Augen der Commission einen Versuch anzustellen, den ich vermuthlich [469] im Laufe meiner Untersuchungen gemacht hätte, nämlich den Strom von einem unterbundenen Nerven so abzuleiten, dass das Unterband sich zwischen den beiden Ableitungspunkten befände. Wenn hierbei der Nervenstrom ausbliebe, würde es schwer sein, meint Hr. Pouillet, diesen Strom von einer äusseren chemischen Wirkung herzuleiten. Der Versuch, den Hr. Pouillet so zu einem Experimentum crucis stempelt, stand nun wirklich schon in meinem Buch, und zwar ist sein Erfolg der Art dass er mit dem von Hrn. Pouillet verlangten jedenfalls gleiche Bedeu-

---

[1] Comptes rendus etc. 15 Juillet 1850. t. XXXI. p. 42. 43.

[2] Annales de Chimie et de Physique. 1842. 3me Série. t. VI. p. 338; — Comptes rendus etc. 2 Septembre 1850. t. XXXI. p. 319.

tung hat. Es erschien nämlich der Strom dabei oft sehr geschwächt, manchmal umgekehrt.[1] Endlich die negative Schwankung des Muskel- und Nervenstromes beim Tetanisiren auf beliebigem Wege, die Stromumkehr beim Absterben u. s. w., die elektromotorischen Erscheinungen im Elektrotonus sind auch nicht aus äusseren chemischen Wirkungen zu begreifen.[2] Allerdings waren die beiden letzteren Gruppen von Thatsachen dem Berichterstatter fremd geblieben.

Worin die chemischen Ungleichartigkeiten bestehen sollen, aus denen die thierisch-elektrischen Ströme entspringen, mit anderen Worten, welches die Glieder der Flüssigkeitskette sein sollen, die am Längs- und Querschnitt des Muskels — um zunächst bei diesem stehen zu bleiben — vorausgesetzt wird, darüber hat sich die Pariser Commission nicht ausgesprochen. Dagegen hatte schon früher, im Jahre 1847, Hr. v. Liebig in seinen Untersuchungen über das Fleisch sich folgendermaassen vernehmen lassen: „Die Blut- und Lymphgefässe enthalten eine alka- „lische Flüssigkeit; die sie umgebende Fleischflüssigkeit ist sauer, die „Substanz dieser Gefässe selbst ist für die eine oder andere dieser Flüs- „sigkeiten durchdringlich. Es sind dies zwei Bedingungen zur Hervor- „bringung eines elektrischen Stromes, und es ist wohl nicht unwahr- „scheinlich, dass ein solcher [470] an den vitalen Processen einen gewissen „Antheil nimmt, obschon seine Wirkung in eigentlich elektrischen Effecten „nicht immer wahrnehmbar ist. Hr. Buff“, fügt Hr. v. Liebig in einer Anmerkung hinzu, „hat auf meine Veranlassung eine Säule construirt, „die aus mit Blut durchtränkten Filzscheiben, Muskelsubstanz (Fleisch) „und Gehirn bestand. Durch diese Vorrichtung wurde eine sehr starke „Ablenkung der Galvanometernadel hervorgebracht, die einen Strom in „der Richtung des Blutes nach dem Muskel anzeigte. Wasser anstatt „des Gehirns angewendet, gab eine weit schwächere Wirkung“.[3]

Wenn die Vorstellung der Chemiker, wonach die Muskeln bereits im Leben sauer sein sollten, richtig gewesen wäre, hätte sich in der That Hrn. v. Liebig's Anschauung, wenigstens für den Strom vom Längsschnitt zum künstlichen Querschnitt, eine gewisse Berechtigung nicht absprechen lassen. Die Rolle freilich, die er dem Blute zuweist, spielt dies sicher nicht, da, wie ich zeigte, mit Zuckerwasser ausgespritzte Muskeln ebenso stark elektromotorisch wirken wie bluthaltige.[4] Inzwischen hätte

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 552.

[2] Vergl. die Fortschritte der Physik in den Jahsen 1850 und 1851. Dargestellt von der physikalischen Gesellschaft zu Berlin. Berlin 1855. S. 758.

[3] Chemische Untersuchung über das Fleisch u. s. w. Heidelberg 1847. S. 83. — S. oben S. 36. 37. 38.

[4] S. oben S. 38.

man doch am Längsschnitt eine der des Blutes ähnliche alkalische Reaction, am Querschnitt die saure Reaction des Inhaltes der Muskelbündel gehabt, und die Frage konnte nur sein, ob Richtung und Stärke der aus dieser Ungleichartigkeit hervorgehenden Wirkung denen des Muskelstromes entsprächen.

Ich selber hatte daher, wie ich schon anderswo[1] erzählte, sobald mir im Sommer 1842 der Gegensatz von Längs- und Querschnitt klar geworden war, nichts Eiligeres zu thun, als zu versuchen, ob nicht dieser Gegensatz aus der verschiedenen Reaction der beiden Schnittflächen, mit Hinblick auf die Berzelius'sche Lehre von der sauren Natur des Bündelinhaltes, zu erklären sei. Ich fand aber bekanntlich, dass die von den [471] Chemikern im lebenden Muskel angenommene Säure darin noch nicht, wenigstens im freien Zustande, nachweisbar ist, sondern dass der frische Muskelquerschnitt entweder gleich dem Längsschnitt nach Art des Blutserums, nur schwächer, alkalisch, oder in jener eigenthümlichen Weise neutral reagirt, die von Hrn. Heidenhain neuerdings passend als amphichromatische Reaction bezeichnet worden ist.[2] Erst beim Absterben wird innerhalb der Bündel Fleischmilchsäure frei, und es kommt ein Punkt, wo der Querschnitt deutlich sauer reagirt, während der Längsschnitt noch alkalisch ist. Später diffundirt der saure Inhalt der todtenstarren Bündel durch Sarkolemma und Perimysium, und Längs- und Querschnitt reagiren beide gleich stark sauer.

Diesen Thatsachen gegenüber kann von der Liebig'schen Vorstellung die Rede nicht mehr sein, und als er sie bekannt machte, war sie für mich längst ein überwundener Standpunkt.

Man hätte sich aber nun die Meinung bilden können, dass der Strom von der alkalischen Reaction des Längsschnittes und der minder alkalischen oder neutralen des Querschnittes herrühre. Gerechtfertigt erscheinen würde hierbei freilich das Verschwinden des Stromes mit vollendeter Starre, insofern alsdann Längs- und Querschnitt gleich sauer reagiren; allein diesem Verschwinden müsste, wenn jene Meinung richtig wäre, ein Wachsen der Stromkraft beim Absterben des Muskels und ein Maximum der Kraft dem Zeitpunkt entsprechend voraufgehen, wo der Längsschnitt noch alkalisch, der Querschnitt bereits sauer reagirt. Man könnte jetzt hierauf die in der Abhandlung 'Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.' dargelegte Thatsache beziehen wollen, dass die elektromotorische Kraft des Muskels durch Säurung des dem Querschnitt an-

---

[1] S. oben S. 3.

[2] Vergl. oben S. 8. Anm. 1.

liegenden Thonschildes wächst.[1] Doch ist diese Erhöhung im Vergleich zu der stattfindenden Aenderung der Reaction des Querschnittes gerade viel zu klein, um nicht im Gegentheil zu zeigen, dass der [472] Muskelstrom, der Hauptsache nach, nicht von dem Reactionsunterschiede herrührt. In demselben Sinne spricht die (relative) elektromotorische Unwirksamkeit von Muskelstücken, die mit einem alten, schon gesäuerten, und mit einem frischen, noch neutralen Querschnitt aufgelegt werden.[2]

Ohnehin sind zu den oben aufgezählten, mit keiner solchen Annahme über den Quell der Muskelstromkraft zu reimenden Thatsachen jetzt noch die künstlichen Neigungsströme, sowohl an den schräggeschnittenen,[3] wie an den diagonal gedehnten[4] Muskeln als eine Erscheinung getreten, welche der Deutung durch äussere chemische Ungleichartigkeiten vollends spottet. Auch dass der nahe dem sehnigen Ende angelegte künstliche Querschnitt sich zuweilen elektromotorisch unwirksam, ja positiv gegen den Längsschnitt verhält, während der Querschnitt des abgeschnittenen Endes das gesetzliche Verhalten zeigt, ist damit schlechterdings unvereinbar.[5]

Abgesehen von allen Betrachtungen der Art kann aber hier zuletzt ganz einfach gefragt werden: Ist die Vertheilung der Reactionen am Muskel die erforderliche, um einen Strom im Sinne des Muskelstromes zu erzeugen, und, wenn dies der Fall, ist der vorhandene elektrochemische Gegensatz gross genug, um ihn als Quell der elektromotorischen Kraft des Muskels anzusehen?

Die letztere Frage zu beantworten, sind wir durch unsere jetzigen Vorrichtungen und Versuchsweisen völlig in Stand gesetzt. Wir kennen die absolute Grösse der elektromotorischen Kraft der Muskeln; es handelt sich also nur noch darum, auch die von Flüssigkeitsketten zu bestimmen, welche die im Muskel vorausgesetzten Bedingungen möglichst treu nachahmen. Bei der gleichen Gelegenheit wird sich ergeben, ob [473] die Richtung des Stromes in diesen Ketten die ist, deren wir zur Erklärung des Muskelstromes bedürfen, was weder aus der Analogie, noch für jetzt aus der Theorie, sicher abgeleitet werden kann.

Concentrirte Salpetersäure und Kalihydratlösung zwischen 0·75 procentiger Chlornatriumlösung oder damit angeknetetem Thon liefern, wie wir sahen (s. oben S. 269., (12), (13)) eine die Kraft der thierischen

---

[1] S. oben S. 210.

[2] S. oben S. 170. Tab. VIII.

[3] S. oben S. 96.

[4] S. oben S. 183.

[5] S. oben S. 194. Anm. 1.

Erreger, abgesehen vom Elektrotonus, erheblich übertreffende Kraftgrösse, und wenn ich früher geäussert habe,[1] dass die Froschhaut die wirksamste Säure-Alkali-Kette an Kraft übertreffe, so war dies ein Irrthum, der daher rührte, dass ich damals mit den Physikern, die dieses Gebiet bearbeitet haben, für die wirksamsten Flüssigkeitsketten die ganz aus concentrirten Flüssigkeiten gebildeten hielt.

Werden aber in den Ketten (12), (13) auch die erregenden Flüssigkeiten verdünnt, so sinkt (S. 269, (14)—(17)) die Kraft sogleich dergestalt, dass schon bei vierfacher Verdünnung der mit der 0·75 procentigen Chlornatriumlösung erhaltene Werth nicht ausreichen würde, um die elektromotorische Leistung eines Muskels zu erklären; der mit Thon bei gleicher Verdünnung beobachtete würde nicht einmal für einen Froschnerven reichen. Und doch welch eine Kluft trennt den Unterschied zwischen den Reactionen von Längs- und Querschnitt eines Muskels, selbst wenn er am grössten ist, von dem zwischen Salpetersäure von 1·093 und Kalihydratlösung von 1·035 Dichte! Ausserdem ist nicht zu übersehen, dass die Richtung des Stromes in diesen Ketten die entgegengesetzte ist von der, welche wir brauchen würden, nämlich vom Kali zur Säure in der Kette, wonach also der Querschnitt positiv statt negativ gegen den Längsschnitt sein müsste, und dass der Muskel seine Kraft auch zwischen gesättigten Lösungen behält, während die Flüssigkeitskette sie einbüsst.

Jetzt ersetzte ich die Salpetersäure und das Kali durch Flüssigkeiten, welche ihrer Natur nach den am Muskel als wirksam gedachten näher stehen. Als solche wählte ich Milch- [474] säure ($\bar{L}$) und Essigsäure ($\bar{A}$) einerseits, andererseits einfach- und doppeltkohlensaures Natron. Es war ja möglich, dass Ketten aus dergleichen Flüssigkeiten ungewöhnlich wirksam seien. Das Heberrohr zwischen den erregenden Flüssigkeiten wurde bei diesen Versuchen durch einen Docht aus weisser Stickwolle ersetzt, weil durch die Kohlensäureentwickelung das Rohr sich von Flüssigkeit entleerte. Die Ableitung geschah zunächst nur durch Thon, was die Analogie der Versuche mit den thierisch-elektrischen Versuchen vollständiger macht, auch sie sehr erleichtert.[2]

Mit der Essigsäure fand sich

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 20.

[2] Den gegenwärtigen verwandte Versuche habe ich bereits bei einer früheren Gelegenheit angestellt und veröffentlicht (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 270). Diese können aber mit den jetzigen nur in Bezug auf die Strömungsrichtung verglichen werden, da nicht die elektromotorischen Kräfte, sondern Multiplicatorablenkungen damals beobachtet wurden.

$$(41)\ \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A}}_{1\cdot052} \mid NaCO_3 + NaCO_3 \mid \text{Thon} = 0\cdot018$$

$$(42)\ \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A} \mid NaCO_3 + NaCO_3}_{1/2} \mid \text{Thon} = 0\cdot008$$

$$(43)\ \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A}}_{1\cdot052} \mid NaO{,}2CO_2 + NaO{,}2CO_2 \mid \text{Thon} = 0\cdot009$$

$$(44)\ \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{A} + \bar{A} \mid NaO{,}2CO_2 + NaO{,}2CO_2}_{1/2} \mid \text{Thon} = 0\cdot004$$

Die Richtung des Stromes in diesen Ketten ist wohl die für Erklärung des Muskelstromes erforderliche, ihre Kraft aber so klein, dass sie sogar mit den concentrirten Flüssigkeiten bestenfalls nur an die des Nervenstromes reicht. Ob die geringere Wirksamkeit des doppeltkohlensauren Natrons auf dessen geringerer Löslichkeit, oder auf der geringeren Alkalescenz beruhe, ist nicht zu sagen; ich wendete aber fortan nur das einfachkohlensaure Natron an, indem ich annahm, dass, wenn eine Flüssigkeitskette damit zu schwach sei, um zur Erklärung des [475] Muskelstromes zu dienen, sie mit dem doppeltkohlensauren Natron es vollends sein würde.

Mit der Milchsäure gab sich zunächst der bemerkenswerthe Umstand zu erkennen, dass mit der syrupsdicken, concentrirten Säure die Richtung der Kraft die umgekehrte war von der, welche dieselbe Säure, mit dem gleichen Volum Wassers verdünnt, gab. Man hat

$$(45)\ \text{Thon} \mid NaCO_3 + NaCO_3 \mid \underbrace{\bar{L} + \bar{L}}_{1\cdot196} \mid \text{Thon} = 0\cdot023;\ \text{aber}$$

$$(46)\ \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{L} + \bar{L} \mid NaCO_3 + NaCO_3}_{1/2} \mid \text{Thon} = 0\cdot005$$

$$(47)\ \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{L} + \bar{L} \mid NaCO_3 + NaCO_3}_{1/4} \mid \text{Thon} = 0\cdot010.$$

Zwischen der Kette (45) und der Kette (46) hat die Curve der Kraft bezogen auf die Verdünnung der Flüssigkeiten die Abscissenaxe geschnitten; die grössere Kraft der Kette (47) im Verhältniss zur Kette (46) lässt sich darauf deuten, dass die Ordinate vom Schneidepunkt an wieder wächst. Die Kraft hat jetzt wieder die zur Erklärung des Muskelstromes erforderliche Richtung, ihr absoluter Werth ist aber viel zu klein dazu; doch war die Frage, ob dieser Werth, bei wachsender Verdünnung, nicht die nöthige Grösse erreiche.

Ich verfolgte die Wirkung der Verdünnung weiter, indem ich das

Volum der Flüssigkeit stets durch Zusatz von Wasser verdoppelte, also die Verdünnung nach Potenzen von 2 fortschreiten liess. Die unverdünnte Säure hatte diesmal nur 1·157 Dichte; der Strom hatte damit sogleich die Richtung, die er mit der früher angewendeten Säure erst bei deren Verdünnung annahm. Denkt man sich in der Gleichung

$$\text{Thon} \mid \underbrace{\bar{\text{L}} + \bar{\text{L}} \mid \text{NaCO}_3 + \text{NaCO}_3}_{1/A} \mid \text{Thon} = E$$

für $A$ folgweise eingesetzt 1, 2 und die Potenzen von 2, so zeigt die folgende Tabelle die Werthe, die ich dem entsprechend $E$ annehmen sah.

[476] (48—59)

| $A$ | $E$ | $A$ | $E$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0·028 | 64 | 0·006—8 |
| 2 | 0·006 | 128 | 0·006 |
| 4 | 0·008 | 256 | 0·005 |
| 8 | 0·014 | 512 | 0·008 |
| 16 | 0·010 | 1024 | 0·009 |
| 32 | 0·008—10 | 2048 | 0·009 |

Bei der letzten Verdünnung bläute die Sodalösung nicht mehr das Lakmuspapier, die Milchsäure röthete es noch deutlich. Die Zahlen lassen kein Gesetz erkennen. Eine andere Versuchsreihe, die ich bis zur 256-fachen Verdünnung führte, fiel nicht besser aus. Worauf diese Unregelmässigkeit beruhte, weiss ich nicht zu sagen. Wie die Reihen sind, reichen sie aus, um zu zeigen, dass in derartigen Ketten auch bei Verdünnungen von gleicher Ordnung mit denen der thierischen Flüssigkeiten keine der Kraft der thierischen Ketten vergleichbare Kraft entsteht.

Noch ähnlicher den Verhältnissen am Muskel lässt sich unsere Anordnung machen, indem bei passender Verdünnung der Milchsäure die Sodalösung durch Blutserum ersetzt wird. Mit Serum vom Rinde erhielt ich

$$(60\text{—}62)\quad \text{Thon} \mid \underbrace{\bar{\text{L}} + \bar{\text{L}}}_{1/A} \mid \text{Serum} + \text{Serum} \mid \text{Thon} = 0{\cdot}006\text{—}8; \; = 0{\cdot}013\text{—}14; \; = 0{\cdot}003\text{—}4,$$

für $A = 50$; $= 256$; $= 2048$. Ob der grössere Werth von $E$ bei $A = 256$ auf einer Unregelmässigkeit beruhte gleich denen, welche in den Versuchen 48—59 hervortreten, oder ob es sich um ein Maximum handle, bedingt dadurch, dass mit concentrirter Milchsäure der Sinn der Kraft verkehrt ist, bleibt unentschieden.

Ein fernerer Schritt liegt darin, dass jetzt auch noch die verdünnte Milchsäure durch todtenstarres, saures Muskelfleisch ersetzt wird. Solches Fleisch vom Rinde mit Blutserum, Sehne oder Nackenband von dem-

selben Thiere (63—65) gab zwischen Thon indess keine merkliche Wirkung. Dagegen fand sich [477]

(66) NaCl | Fleisch + Fleisch | Sehne + Sehne | NaCl = 0·003 [1]

(67) NaCl | Fleisch + Fleisch | Nackenband + Nackenband | NaCl = 0·006

(68) NaCl | Fleisch + Fleisch | Serum + Serum | NaCl = 0·008

und ebenso

(69) NaCl | $\underbrace{\bar{L} + \bar{L}}_{1/50}$ | Serum + Serum | NaCl = 0·014

Wenn die Gleichungen (60) und (69) richtig sind, was ich wegen der bei grösserer Verdünnung der Flüssigkeiten sich einstellenden Unregelmässigkeiten nicht unbedingt verbürgen mag, so liefern also auch verdünnte Michsäure und Serum zwischen gesättigter Kochsalzlösung eine grössere Kraft, als zwischen Thon. Man hat hier den umgekehrten Fall von dem mit der Salpetersäure-Kali-Kette beobachteten, insofern letztere zwischen Thon oder verdünnter Kochsalzlösung stärker wirkt als zwischen gesättigter Lösung (s. oben S. 269). Die Unwirksamkeit des sauren Fleisches und alkalischen Sehnengewebes zwischen Thon ist auffallend, wegen der in der Abhandlung 'Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.' erkannten Thatsache, dass die Kraft des Muskels grösser erscheint, wenn der Querschnitt das Thonschild gesäuert hat. Allein ich habe mich wiederholt auf das Bestimmteste davon überzeugt; einigemal erfolgte eine sehr schwache Wirkung im umgekehrten Sinne von dem, der mit der Kochsalzlösung beobachtet wird. Uebrigens habe ich bereits in jener Abhandlung darauf hingewiesen, dass vermuthlich der Sitz der Kraft, welche in Folge der Säurung des Thonschildes zur eigentlichen Muskelstromkraft hinzutritt, an der Grenze des sauren und des unveränderten Thones zu suchen ist.[2] Hierher gehören die dort schon erwähnten Ketten.

[478]

(70—73) Thon | Mit verd. $\bar{L}$ angekneteter Thon + Mit verd. $\bar{L}$ angekneteter Thon | Längsschnitt eines frischen Froschmuskels, Sehne, Nackenband, saures Fleisch } vom Rinde + Längsschnitt eines frischen Froschmuskels, Sehne, Nackenband, saures Fleisch } vom Rinde | Thon = 0·003—0·007.

[1] Die elektromotorische Ueberlegenheit eines mit Längs- und Querschnitt der Kette (66) im nämlichen Kreise entgegenwirkenden Froschmuskels habe ich schon früher angezeigt. De Fibrae muscularis Reactione etc. Berolini MDCCCLIX. 4°. p. 43. — S. oben S. 39.

[2] S. oben S. 213.

Es war interessant, zuzusehen, wie derartige Ketten mit destillirtem Wasser als ableitender Flüssigkeit sich verhalten würden. Ich erhielt

(74) HO | Sehne + Sehne | Fleisch + Fleisch | HO = 0·033

(75) HO | Nackenband + Nackenband | Fleisch + Fleisch | HO = 0·020

(76) HO | Serum + Serum | Fleisch + Fleisch | HO = 0·052

(77) HO | Serum + Serum | $\underbrace{\bar{L} + \bar{L}}_{1/50}$ | HO = 0·083.

Die Kraft fällt also mit dem destillirten Wasser bedeutend grösser aus als mit der gesättigten Kochsalzlösung, so dass dies auch hier eine bevorzugte Rolle spielt, allein die Richtung der Kraft ist die umgekehrte von der zur Erklärung des Muskelstromes erforderlichen. Wir werden von diesen Thatsachen bald eine wichtige Anwendung zu machen haben.

Solche Versuche mit Serum und Gewebetheilen halte ich für bessere Nachbildungen der am Muskel vorausgesetzten Verhältnisse, als die oben S. 275 erwähnte von den HH. v. Liebig und Buff aus blutgetränktem Filz, Hirn und Fleisch errichtete Säule, wie eine solche übrigens schon Lagrave im Anfange des Jahrhunderts erbaut hatte.[1]

Es ist somit ausgemacht, dass keine Ungleichartigkeit, wie sie je am Muskel, sogar im Verlaufe des Absterbens, vorkommt, eine Kraft liefert, welche auch nur der des Nerven entspräche; und damit wird das Gerede über den möglichen Ursprung der thierisch-elektrischen Ströme aus äusseren chemischen Ungleichartigkeiten hoffentlich sein Ende erreicht haben; obschon, [479] wie wir sogleich sehen werden, die Beweise gegen diese Lehre noch nicht erschöpft sind.

Vielleicht ist es nicht unnütz, hinzuzufügen, dass auch die wirksamste Hydro-Thermokette, die Hr. Wild beobachtet hat, an Kraft weit hinter den Muskeln zurückbleibt, ja nur eben die Nerven übertrifft. Es war nämlich bei 100° Temperaturunterschied

$$CuSO_4\,(\text{Dichte } 1\cdot10) - SO_3\,(\text{Dichte } 1\cdot05) = 0\cdot027.$$ [2]

---

[1] S. oben S. 38.

[2] A. a. O. S. 410. — Ich will hier noch anführen, dass ich versucht habe, Hrn. Scoutetten's Angabe über die elektromotorische Wechselwirkung von arteriellem und venösem Blute zu bestätigen. Hr. Scoutetten trennte die beiden frisch den Gefässen eines Pferdes entnommenen, ungeschlagenen Blutarten von einander und von der Zinklösung, in welche die verquickten Zinkenden des Multiplicators tauchten, durch eine poröse Thonwand, und fand

$ZnSO_4$ | ven. Blut + ven. Blut | art. Blut + art. Blut | $ZnSO_4$ = 0·031,

eine Kraft, welche an die schwächerer Muskeln reichen würde. Hrn. Scoutetten's Kraftmessung war zwar nicht sehr genau, da er dabei an einem gewöhnlichen Mul-

## [480] §. IX. Von dem durch äussere chemische Ungleichartigkeiten des Muskels, neben dem inneren oder eigentlichen Muskelstrom, erzeugten Strome.

Wenn im Vorigen die Ansicht endgültig widerlegt wurde, wonach äussere chemische Ungleichartigkeiten der Quell des vom Längsschnitt zum künstlichen Querschnitt fliessenden Muskel- und Nervenstromes wären, so soll natürlich nicht damit gesagt sein, dass solche Ungleichartigkeiten, insofern es deren wirklich giebt, nicht auch unter Umständen elektromotorisch wirken, und dadurch den eigentlichen Muskelstrom, den wir fortan zum Unterschiede von dem durch jene Ungleichartigkeiten erzeugten äusseren Strom den inneren nennen wollen, verstärken oder schwächen. Um so weniger kann diese Möglichkeit bezweifelt werden, als nicht allein das Dasein solcher Ungleichartigkeiten nicht zu läugnen ist, sondern auch bereits in einem einzelnen Falle deren Betheiligung an der elektromotorischen Wirkung des Muskels erkannt wurde; ich spreche von der in der Abhandlung 'Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.' beschriebenen, durch die Säurung des den Querschnitt berührenden Thonschildes herbeigeführten Verstärkung des Stromes eines aufliegenden Muskels. Um nun aber den etwaigen Einfluss der Ungleichartigkeit von Längs- und Querschnitt allgemeiner zu untersuchen, bietet sich der Weg, die Muskelstromkraft bei Ableitung des Stromes durch verschiedene Flüssigkeiten vergleichend zu bestimmen. Zeigt mit allen Flüssigkeiten der Muskel gleiche Kraft, so ist freilich auf diesem Wege nichts auszurichten. Zeigt sich aber ein Unterschied, so kann dieser nur daher rühren, dass

---

tiplicator die Stromstärken den Tangenten noch zwischen 50 und 70° proportional setzte; allein der so begangene Fehler musste vielmehr die Kraft kleiner erscheinen lassen als sie war (De l'Électricité considérée comme cause principale de l'action des Eaux minérales sur l'Organisme. Paris 1864. p. 196 et suiv.).

Ich nahm geschlagenes noch warmes Hammelblut, schüttelte einen Theil davon mit Sauerstoff, einen anderen mit Kohlensäure, so dass der grösstmögliche Farbenunterschied erreicht war, füllte zwei der oben S. 264 beschriebenen Gläser mit den beiden Blutarten, verband sie mit den die Zinklösung enthaltenden Gefässen durch mit dem gleichen Blute gefüllte Heberröhren, untereinander aber durch eine Röhre, welche bald mit dem einen bald mit dem anderen Blute gefüllt, an der Mündung, wo die beiden Blutarten zusammentrafen, mit Fliesspapier überbunden war. Es gelang mir aber in wiederholten Versuchen nicht, eine elektromotorische Wirkung in dem von Hrn. Scoutetten angegebenen Sinne sicher wahrzunehmen. Jedenfalls war die elektromotorische Kraft an meinen Vorrichtungen unmessbar.

Unter der Voraussetzung, dass Hrn. Scoutetten's Ergebniss richtig ist, würde aus meinen Versuchen folgen, dass die elektromotorische Wirkung der beiden Blutarten nicht von ihrem verschiedenen Gasgehalt herrührt.

die algebraische Summe: Flüssigkeit | Längsschnitt + Längsschnitt | Querschnitt (um von weiteren Verwickelungen abzusehen) + Querschnitt | Flüssigkeit, erstens nicht Null ist und zweitens nicht für alle Flüssigkeiten einerlei Werth und Zeichen hat; womit also ihr Dasein jedenfalls festgestellt sein würde.

Versuche mit verschiedenen Ableitungsflüssigkeiten hat, woran oben S. 274 bereits erinnert wurde, schon Hr. Matteucci angestellt, um zu zeigen, dass der Strom nicht äusseren che- [481] mischen Ungleichartigkeiten entspringe. Er tauchte die Endglieder seiner Muskelsäulen in Salpeter-, Schwefel-, Chlorwasserstoffsäure; Kochsalz- und schwefelsaure Kalilösung; Kali-, Natron-, Aetzkalk- und Aetzbarytlösung, ohne dass ihm eine Abweichung von dem gewöhnlichen Verhalten auffiel. Ich habe solche Versuche früher gleichfalls, jedoch an einzelnen Muskeln und Nerven, angestellt, indem ich auf die gewöhnlichen Zuleitungsbäusche zuerst Sicherheitsbäusche, dann Hülfsbäusche legte, die mit verdünnter Schwefelsäure (: HO : : 1 : 3) oder Kalihydratlösung (: HO : : 1 : 1) getränkt waren. Der Muskel sowohl als der Nervenstrom erschienen in der richtigen Richtung, und, soviel sich am Multiplicator beurtheilen liess, der gewohnten Stärke. Dasselbe habe ich gelegentlich mit verschiedenen Salzlösungen gesehen: mit gesättigter Kochsalz-, Salpeter-, schwefelsaurer Zink- und Kupferlösung. Da auch mit Brunnen- und destillirtem Wasser, mit verdünnter Kochsalzlösung, mit Eiweiss, endlich mit thierischen Gewebetheilen, z. B. mit Froschhaut, der Strom für die gewöhnliche Wahrnehmung in ganz gleicher Art erschien, so habe ich mich Jahre lang hierbei beruhigt, und insofern mit Recht, als es sich für mich wie für Hrn. Matteucci zunächst nur darum handelte, den Strom von dem Verdacht eines äusseren chemischen Ursprunges zu reinigen.

Für unseren jetzigen Zweck indessen sind derartige Versuche, wie ich zu sagen kaum nöthig habe, unbrauchbar. Nicht allein, dass dabei die Polarisation noch nicht ausgeschlossen war, und dass dem Multiplicator kleinere Unterschiede verhältnissmässig grosser Stromstärken entgehen, es ist auch klar, dass wegen des verschiedenen Widerstandes der ableitenden Flüssigkeiten hier im Allgemeinen nur dadurch ein sicheres Ergebniss erlangt werden kann, dass man statt der Stromstärke die elektromotorische Kraft misst. Ich verfuhr nunmehr so:

Auf den mit Zinklösung getränkten Zuleitungsbäuschen befand sich ausser dem gewöhnlichen noch ein zweites Paar Thonschilder, welches nur bestimmt war, die Verunreinigung der Zinkbäusche mit den verschiedenen Flüssigkeiten zu verhüten. Auf diesen Thonschildern, welche für jede Flüssigkeit erneuert wurden, lagen Hülfsbäusche, mit der zur Ableitung [482] zu benutzenden Flüssigkeit getränkt. Der Muskel

(die Versuche blieben zunächst auf Muskeln beschränkt) wurde zuerst mit Längs- und Querschnitt auf die gewöhnlichen Thonschilder gelegt, sein Strom compensirt und die Stellung des Läufers abgelesen; dann wurde er in möglichst gleicher Art über die Hülfsbäusche gebrückt, und sein Strom abermals compensirt, wobei sich zeigen sollte, ob die Natur der Flüssigkeit von Einfluss auf die Kraft sei. Aus leicht ersichtlichen Gründen konnte der Versuch an jedem Muskel füglich nur zweimal angestellt werden; nämlich das zweite Mal nach erneuertem Querschnitt, indem der Muskel mit einer anderen Stelle seines Umfanges aufgelegt wurde. Die angewendeten Muskeln waren der Sartorius, Gracilis und Semimembranosus.

Wie zu erwarten war, stellten sich bei diesen Versuchen bedeutende Störungen dadurch ein, dass die Flüssigkeiten den Muskel anätzten. Nicht selten entstand Tetanus, da denn der Versuch verloren war; aber auch sonst sank die Kraft oft so schnell, dass von deren Vergleichung mit der bei Ableitung durch Thon gefundenen nicht wohl die Rede sein konnte.

Dies trat z. B. ein bei Ableitung des Stromes mit verdünnter Schwefelsäure (: HO : : 1 : 3 und : : 1 : 9) und mit Kalihydratlösung (: HO : : 1 : 4, Dichte 1·074 bei 23·5° C.); die Kraft wurde in diesen drei Fällen nur = etwa 0·03 gefunden, während sie mit dem Thon etwa 0·05 betrug. Allein sobald abgelesen werden konnte, wurde sie auch schon rasch sinkend angetroffen, so dass sie im Augenblicke des Auflegens eben so gross oder grösser gewesen sein mochte, als mit dem Thon. Ebenso, nur minder ausgesprochen, war der Erfolg mit Salpeterlösung. Mit Salmiaklösung dagegen fiel die Wirkung mehrmals stärker aus, als mit dem Thon, doch gelangte ich, heftiger Störungen wegen, zu keiner Sicherheit. Endlich mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung war gar kein Unterschied vom Thon zu bemerken; im Mittel aus 6 Versuchen wurde jederseits die Kraft = 0·056 gefunden.

Soweit scheinen diese Versuche den gewünschten Aufschluss zu versagen. Dagegen mit gesättigter Chlornatriumlösung erscheint regelmässig die Kraft etwas grösser als mit dem Thon. [483] Im Mittel aus 14 Versuchen war sie mit der Lösung 0.060, mit dem Thon wieder nur 0·056. Umgekehrt habe ich im destillirten Wasser eine Flüssigkeit gefunden, womit die Kraft, ohne irgend rascher als sonst zu sinken, erheblich kleiner ausfällt, als mit dem Thon. Im Mittel aus 16 Versuchen, in deren jedem dies zutraf, war sie mit dem Wasser 0·039, mit dem Thon abermals 0·056. Die dreimalige Wiederkehr des letzteren Mittelwerthes für die Kraft bei der Ableitung durch Thon beweist beiläufig die Zuverlässigkeit der Versuchsweise.

Hatte ich den Muskel mehreremal an derselben Stelle der Hülfs-

bäusche aufgelegt, so verminderte sich der Unterschied zwischen den mit Thon und den mit destillirtem Wasser erhaltenen Wirkungen. Liess ich den Muskel auf den Hülfsbäuschen liegen, so fand nicht nur kein schnelleres Sinken als sonst statt, sondern ich sah im Gegentheil die Kraft bedeutend zunehmen. Dies Verhalten entspricht dem mit den Thonschildern beobachteten, welches in der Abhandlung 'Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.' beschrieben wurde,[1] und rührt augenscheinlich von der Verunreinigung des destillirten Wassers mit löslichen Muskelstoffen, unter anderen mit Säure, her.

Nach diesen Versuchen unterliegt es keinem Zweifel, dass die elektromotorische Kraft des Muskels durch die Natur der ableitenden Flüssigkeit beeinflusst wird, und zwar in gar nicht geringem Grade: denn die mit Kochsalzlösung, mit Thon und mit destillirtem Wasser erhaltenen Wirkungen sind zu einander wie 1·00 : 0·93 : 0·65. Die Art, wie die ableitenden Flüssigkeiten diesen Einfluss üben, wird durch die Ergebnisse erläutert, zu denen wir am Schlusse des vorigen Paragraphen gelangten. Saures Fleisch, verdünnte Michsäure gaben mit Serum, Sehne, oder elastischem Gewebe zwischen Thon keine merkliche Wirkung, zwischen gesättigter Chlornatriumlösung einen Strom von der Säure zum Alkali in der Kette. Da die Reaction des Querschnittes im Vergleich zu der des Längsschnittes sich zum Sauren neigt, erscheint es in der Ordnung, dass die elektromotorische Kraft des Muskels zwischen gesät- [484] tigter Chlornatriumlösung grösser ausfällt, als zwischen Thon; denn die äussere Kraft summirt sich zur inneren, eigentlichen Muskelstromkraft. Hingegen zwischen destillirtem Wasser gab saures Fleisch oder verdünnte Milchsäure mit Serum, Sehne oder elastischem Gewebe eine bedeutend stärkere Wirkung in umgekehrter Richtung, von dem Alkali zur Säure in der Kette. Dem entspricht die erheblich kleinere Grösse der elektromotorischen Kraft des Muskels bei Ableitung durch destillirtes Wasser statt durch Thon; denn nun zieht sich die stärkere und verkehrte äussere Kraft von der inneren eigentlichen Muskelstromkraft ab.[2]

---

[1] S. oben S. 210.

[2] In der Abhandlung „Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.“ (s. oben S. 205 Anm.) sind den gegenwärtigen scheinbar sehr ähnliche Versuche beschrieben. Zwischen den Querschnitt oder den Längsschnitt eines wie gewöhnlich aufliegenden Muskels und das entsprechende Thonschild wurde dort ein mit destillirtem Wasser getränktes Fliesspapierscheibchen gebracht; im ersteren Fall erfolgte Verminderung, im zweiten Vermehrung der Kraft. Man könnte danach, beim ersten Blick, den Vorgang in unserem jetzigen Versuche näher dahin bestimmen wollen, dass zwischen Muskel und Wasser allgemein eine Kraft vom ersteren zum letzteren, stärker jedoch am Querschnitt als am Längsschnitt, thätig sei. Allein eine etwas genauere Zer-

Ein besserer Beweis für den Nicht-Ursprung des Muskelstromes aus äusseren chemischen Ungleichartigkeiten, als der in diesen Versuchen enthaltene, lässt sich schwerlich liefern. Denn hier werden diese Ungleichartigkeiten wirklich nachgewiesen; ihre Wirkungen sind nicht mehr blosse Vermuthung, sondern nach Grösse und Richtung genau beobachtet, ja erklärt; und es findet sich, dass diese Wirkungen etwas vom Muskelstrome ganz verschiedenes sind, was sich algebraisch zu ihm hinzufügt, je nach den Umständen ihn verstärkt oder schwächt.

Die wichtige Frage, welche sich jetzt aufdrängt, wie sich in dem gewöhnlichen Falle der Ableitung durch Thon jener äussere Strom verhalte, scheint auch bereits, und zwar in einer für uns sehr glücklichen Weise, im Früheren beantwortet zu [485] sein. Da verdünnte Milchsäure und saures Fleisch mit Serum, Sehne und elastischem Gewebe zwischen Thon keine merkliche Kraft entwickeln, sind wir wohl zu der Annahme berechtigt, dass mit Thon (und dann auch mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung) der äussere Strom so gut wie Null sei.

Im Principe scheint sich diese Frage noch auf einem anderen Wege beantworten zu lassen. Dazu würde, sollte man beim ersten Blick meinen, nur nöthig sein, nach Messung der elektromotorischen Kraft des Muskels, zwischen Querschnitt und Thonschild einen zweiten Muskel so zu lagern, dass Querschnitt und Thonschild gleichartigen Längsschnitt des letzteren berühren, oder auch zwischen Längsschnitt und Thonschild eine durch zwei Querschnitte begrenzte Muskelscheibe so anzubringen, dass Längsschnitt und Thonschild gleichartigen Querschnitt berühren, und nun die Kraftmessung zu wiederholen. Diese Anordnungen sind, wie man sich entsinnt, nicht neu; vielmehr gehören sie zu meinen ältesten Versuchen, und an den Erfolg, den man dabei mit rohen Mitteln beobachtet, ist erst kürzlich erinnert worden (s. oben S. 274): der Muskelstrom erscheint in gewohnter Richtung, und, soweit der Multiplicator zu urtheilen erlaubt, in der Stärke, die man entsprechend dem durch die Einschaltung des zweiten Muskelstückes erhöhten Widerstande zu erwarten hat.[1]

Sehr schwierig aber wird jetzt der Versuch gegenüber den höher gespannten Anforderungen, die wir an ihn stellen, und zwar deswegen, weil die Bedingung der Gleichartigkeit des dazwischengebrachten Längs- oder Querschnittes so selten sicher erfüllt ist. Vorzüglich gilt dies, nach

---

gliederung lehrt, dass dieser Schluss nur gerechtfertigt wäre unter der unwahrscheinlichen, jedenfalls unbewiesenen Voraussetzung: Thon | HO = Thon | Querschnitt = Thon | Längsschnitt.

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 558. Taf. V. Fig. 50. 51.

bekannten Erfahrungen, für die beiden, die Muskelscheibe begrenzenden Querschnitte; aber auch zwischen Punkten des Längsschnittes, die auf dem Aequator oder einem Parallelkreise gelegen sind, trifft man oft grössere Spannungsunterschiede an, als man hier vernachlässigen darf, während es aus Gründen, die ich nicht ausführlich darlegen will, unausführbar ist, diese zu messen und in Rechnung zu ziehen. Mit der Beschreibung der kleinen [486] Kunstgriffe, durch deren Hülfe ich diese Schwierigkeit zu überwinden versucht habe, mag ich auch nicht den Leser ermüden. Ohne diese Angabe unbedingt verbürgen zu wollen, glaube ich sagen zu dürfen, dass die elektromotorische Gesammtkraft des Muskels durch das Dazwischenbringen eines zweiten Muskelstückes in der einen oder anderen der beiden beschriebenen Arten um eine kleine Grösse verringert erscheint. Mit anderen Worten, die Flüssigkeitskette:

Thon | Querschnitt + Querschnitt | Längsschnitt + Längsschnitt | Thon

würde eine im Vergleich zur eigentlichen Muskelstromkraft zwar sehr unbedeutende, immerhin jedoch nachweisbare Kraft in gleichem Sinne mit jener entwickeln; ein Ergebniss, welches mit dem Erfolg der Versuche mit saurem Fleisch, Serum u. s. w. zwischen Thon im Widerspruch ist.

Inzwischen zeigt es sich bei näherer Ueberlegung, dass unser Versuchsplan doch so einwurfsfrei nicht ist, wie er anfänglich sich darstellt. Es kann nämlich sehr wohl bezweifelt werden, dass die elektromotorische Kraft A zwischen dem Längsschnitt eines und dem künstlichen Querschnitt eines anderen Muskels die nämliche sei, wie die A', welche, abgesehen von den elektromotorischen Molekeln, innerhalb eines und desselben Muskels durch die Berührung aller der Stoffe erregt werde, die darin vom künstlichen Querschnitt bis zum Perimysium des Längsschnittes aufeinander folgen. Sobald dies nicht der Fall ist, haben wir in unseren Versuchen zwar den Unterschied der Kräfte ausser Spiel gebracht, die zwischen dem Thon und einerseits dem Quer-, andererseits dem Längsschnitt ihren Sitz haben; dafür haben wir aber den Unterschied der Kräfte A—A' in's Spiel gebracht, von dem wir gar nichts wissen, und der sehr leicht der Grund des bezeichneten Widerspruches sein könnte.

Wie dem auch sei, der äussere Muskelstrom fällt bei der gewöhnlichen Ableitung jedenfalls so schwach aus, dass er für eine zu vernachlässigende Erscheinung gelten kann, und dass seine Bedeutung vielmehr darin besteht, wie oben gesagt wurde, dadurch, dass in ihm sich die wahre Wirkung der äusseren Un- [487] gleichartigkeiten kundgiebt zum Beweise des Nicht-Ursprunges des Muskelstromes aus diesen Ungleichartigkeiten, den Schlussstein abgegeben zu haben.

## §. X. Von der Erscheinungsweise der thierisch-elektrischen Ströme bei Ableitung durch Metalle.

Auch bei unmittelbarer Berührung der Muskeln mit den metallischen Multiplicatorenden lässt Hr. Matteucci den Strom in gewohnter Art erscheinen.[1] Es ist schwer zu begreifen, dass ihm bei diesem Versuche nicht dasselbe begegnet ist, was mich bei dessen Anstellung vor Jahren in grosse Verlegenheit setzte, aus der ich erst durch mein jetziges Verfahren der elektromotorischen Kraftmessung gezogen ward. Ich verfertigte damals aus Kork eine kleine Vorrichtung der Art, dass ein Muskel oder Nerv mit seinem Aequator bequem auf einen ausgeglühten Streifen Platinblech gelagert werden konnte, während sein künstlicher Querschnitt wider ein ähnliches, senkrecht gegen jenes, aufgestelltes Blech stiess. Ich überzeugte mich zuerst, indem ich die Bleche mit symmetrischen Längsschnittspunkten berührte, von der ausreichenden Gleichartigkeit der beiden Bleche. Wie betroffen war ich aber, als ich nun den Muskel in die wirksame Lage brachte, und am Muskel-Multiplicator der Strom nicht erschien, während am Nerven-Multiplicator selbst der kräftigste Muskel nur eine Wirkung, der eines Nerven vergleichbar, erzeugte, vom Nervenstrome selber aber beim Auflegen eines Nerven nichts wahrzunehmen war. Und doch fiel bei dieser Anordnung der Widerstand der feuchten Zuleitung zwischen Muskel oder Nerv und metallischen Multiplicatorenden fort, der keinen unbedeutenden Theil des Gesammtwiderstandes des Kreises ausmacht.

Die beste Erklärung, die ich mir von diesem räthselhaften Verhalten zu geben wusste, war die, dass mit dem Platin das Alkali des Längsschnittes und die relative Säure des Querschnittes nach Art einer Becquerel'schen Kette einen äusse- [488] ren Strom vom Alkali zur Säure in der Kette, also im umgekehrten Sinne des Muskelstromes, erregen; und dass nach bekannten Grundsätzen[2] dieser Strom stärker ausfällt, als bei Ableitung durch einen Elektrolyten; so stark, dass dadurch der innere eigentliche Muskelstrom fast ganz aufgehoben wird.

War diese Auffassung richtig, so mussten bei Ableitung mit Platin die schwachen Ströme des Längs- und Querschnittes (die Neigungsströme der Muskeln kannte ich damals noch nicht) in unveränderter Stärke erscheinen, ja sie durften den Strom vom Längs- zum Querschnitt übertreffen. Ferner musste der Muskelstrom (um, der Einfachheit des Aus-

[1] Annales de Chimie et de Physique. 1842. 3me Série. t. VII. p. 338. 6⁰.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 135. 210. 211.

druckes halber, die Erörterung zunächst auf ihn einzuschränken) in gewohnter Stärke hervortreten, sobald zwischen dem Muskel und dem Platin jederseits ein Blatt mit Serum oder verdünnter Kochsalzlösung getränkten Fliesspapiers, oder zwischen Längsschnitt und Platin eine quere Muskelscheibe, oder endlich zwischen Querschnitt und Platin ein Muskel der Länge nach, angebracht wurde. Endlich musste ein Gastroknemius, mit Haupt- und Achillessehne zwischen Platin, bei Vernichtung seiner parelektronomischen Schicht durch Kreosot, den gewohnten Ausschlag liefern. Als ich aber diese Versuche anstellte, fand von alledem nichts statt. Der Muskelstrom war und blieb bei dieser Art der Ableitung auf eine blosse Spur beschränkt.

Indem ich später diese Untersuchung mit Hülfe des Compensators wieder aufnahm, gelangte ich bald zur Lösung des Räthsels. Am Compensator nämlich zeigt sich, dass während die Stromstärke dergestalt auf einen kleinen Bruchtheil beschränkt erscheint, die elektromotorische Kraft ungeschwächt fortbesteht. Ich erhielt z. B. von drei Muskeln bei nur 43; 33; 25 $^{sc}$ Ablenkung durch den Strom, beziehlich 0·058; 0·047; 0·044 Daniell für die zugehörigen Kräfte, also ganz gewöhnliche Mittelwerthe; von einem Ischiadnerven bei nur 7 $^{sc}$ Ablenkung (mit Haüy'scher Compensation) 0·028, wovon ein Theil auf Platin-Ungleichartigkeiten zu rechnen ist. Und nun fielen mir die Schuppen von den Augen. Die scheinbare [489] Vernichtung des Muskel- und Nervenstromes bei dieser Art der Ableitung beruht einfach auf Polarisation, und die Polarisation erreicht im Nu diese Höhe wegen der kleinen Ausdehnung, in der das Platin von den thierischen Theilen berührt wird. Beim Compensiren des Stromes kommt die Polarisation nicht zu Stande, oder sie verschwindet in dem Maasse, wie das Gleichgewicht erreicht wird. Damit stimmt vollkommen, dass auch der compensirende Stromzweig der Maasskette, wenn die Platinelektroden symmetrischen Längsschnittspunkten angelegt werden, oder wenn der Muskel durch einen Thonstab von gleichen Maassen ersetzt wird, dieselbe Schwächung erleidet. Dem Verhalten mit Platinelektroden ähnlich ist das mit Goldelektroden, dagegen mit solchen aus Silber, galvanoplastischem Kupfer, verquicktem Zink erscheint der Muskelstrom in ansehnlicher Stärke, nur sehr unbeständig.

Die Polarisation der Platinelektroden durch den entgegengesetzten Ausschlag beim Schliessen des Kreises ohne den polarisirenden Strom nachzuweisen, gelingt schwer wegen ihrer grossen Flüchtigkeit; am besten noch, indem man den Muskel plötzlich, statt mit Längs- und Querschnitt, mit symmetrischen Längsschnittspunkten die Bleche berühren lässt. Liegt der Muskel mit Längs- und Querschnitt auf, so glückt es übrigens

häufig, den Strom auf Augenblicke kräftiger hervorzulocken, indem man die Berührungsstelle am Längsschnitt erschüttert: der sogenannte Schüttelversuch.[1]

## §. XI. Anwendung unserer elektromotorischen Kraftmessungen auf die physikalische Theorie der elektromotorischen Molekeln.

Wir kehren, nach dieser Abschweifung, zu den Anwendungen zurück, welche sich von unseren elektromotorischen Kraftmessungen machen lassen, um über den Ursprung der thierisch-elektrischen Ströme etwas Näheres festzustellen. Wir haben diese Messungen bereits verwerthet, um die Unmöglichkeit darzuthun, die Ströme aus äusseren chemischen Ungleichartigkeiten abzu- [490] leiten; jetzt wollen wir sehen, ob sich damit etwas anfangen lasse, um die in den elektromotorischen Molekeln thätigen Kräfte einigermaassen genauer zu bestimmen.

Unter den elektromotorischen Molekeln sind nämlich nicht kleinste Theile des Muskels zu verstehen, welche, mit elektromotorischen Kräften ausgerüstet, unablässig an sich stromerzeugend wirken, etwa wie in Ampère's Theorie die Eisentheilchen, ihrer Natur nach, unablässig von Strömen umkreist gedacht werden. Wenn die Ampère'schen Molecularströmchen bisher allein eine mathematische Fiction sind, der meines Wissens noch nie versucht wurde, eine physikalische Grundlage zu verleihen, so ist es ein Missverständniss gewesen, zu dem wohl die bisher unvollständig gebliebene Darstellung in meinem Werke verleitete, wenn auch die elektromotorischen Molekeln dergestalt als abstracte Wesen aufgefasst wurden. Ich habe mir darunter vielmehr stets auf bestimmte Weise orientirte Heerde chemischer Thätigkeit gedacht, und diese Thätigkeit für einerlei mit derjenigen gehalten, welche die Athmung des Muskels ausmacht.[2] Statt des Begriffes der elektromotorischen Molekeln hätte ich anfangs vielleicht besser den sehr kleiner elektromotorischer Flächen eingeführt, welche im Grunde das Einzige sind, von dessen Dasein wir sichere Kunde haben; einen Begriff, der, noch abstracter als der der elektromotorischen Molekeln, zu gar keiner Vorstellung, also auch zu keiner falschen mehr, die Handhabe bietet. In der That, der Faser parallele Reihen darauf senkrechter elektromotorischer Flächen, wie in Fig. 7, sind, physikalisch-

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 212.

[2] Vergl. oben S. 122. — Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1864. S. 322. 323; — vergl. unten Abh. XXIX. §. II.

mathematisch genommen, Alles, was man zur Erklärung der elektromotorischen Erscheinungen braucht.[1]

Inzwischen ist es eben ein Vorzug unserer Theorie vor der Ampère-schen, dass sie nicht bloss abstracte Fiction zu bleiben braucht, sondern dass die Möglichkeit wenigstens da ist, (wie gering auch die Wahrscheinlichkeit sei), dereinst etwas über die Ursache der in den elektromotorischen Molekeln thätigen Triebkraft auszusagen. Zu einem kleinen Schritt in die- [491] ser Richtung haben wir jetzt den Boden gewonnen. Es ist klar, wenn anders meine Hypothese über die Anordnung der elektromotorischen Elemente im Muskel richtig ist, dass die gesuchte Ursache keine sein könne, welche nicht eine elektromotorische Kraft von mindestens dem doppelten Betrage der elektromotorischen Kraft des senkrecht durchschnittenen Muskels zu erzeugen vermag. Keine Combination, die nicht eine Kraft von $2 \times 0 \cdot 080 = 0 \cdot 160$ Daniell liefert, kann die in den elektromotorischen Molekeln thätige sein; denn so hoch, bis zu 0·080 Daniell, haben wir die Kraft zwischen Aequator und Pol des Muskels steigen sehen. Es ist aber sogar die höchste Wahrscheinlichkeit dafür da, dass die Kraft der Molekeln jene Grenze noch um Vieles überschreite (vergl. oben S. 261. 262).

Wie man mit Hinblick auf unsere Messungen jetzt leicht bemerkt, wird das Wesen der elektromotorischen Molekeln durch diese Betrachtungen keineswegs verständlicher. Freilich mag es unter den zahllosen möglichen Combinationen von Stoffen noch eine Menge Fälle geben, in welchen solche Kraft entsteht. Halten wir uns aber an das Bekannte, so sind die einzigen Combinationen, welche nicht durch ihre zu geringe Leistung ohne Weiteres von der Mitbewerbung ausgeschlossen sind, abgesehen von den Schwefelleberketten, deren Natur als reiner

---

[1] [In der hier wiedergegebenen ursprünglichen Figur sind die peripolaren Gruppen länger als breit dargestellt. Auch hatte ich sie auf S. 596 der Abhandlung „Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.“ als gestreckte Atomcomplexe bezeichnet. Doch ist hierfür kein Grund. Ich habe deshalb oben S. 122 beim Abdruck jener Stelle das Wort „gestreckt“ fortgelassen, und in unserer jetzigen Figur die Gruppen so breit wie lang gemacht. Sie könnten in der That breiter als lang sein. Damit alle Erscheinungen erklärt seien, kommt es nur darauf an, dass 1. der Abstand zweier elektromotorischen Flächen, welche zwei der Länge nach aneinanderstossenden Gruppen angehören, verschwinde gegen den Abstand der beiden elektromotorischen Flächen einer und derselben Gruppe; 2. der Bestand einer jeden der beiden, am Ende einer Gruppe gelegenen Flächen an den Bestand der ganzen Gruppe geknüpft sei, oder, wie ich es oben S. 123 Anm. ausdrückte, dass beim Absterben vom künstlichen Querschnitt aus die Demarcationsfläche stets zwischen zwei peripolare Gruppen fällt. Vielleicht ist, was ich jetzt elektromotorische Fläche nenne, eine Schicht dipolarer Molekeln.]

Flüssigkeitsketten zweifelhaft ist, merkwürdigerweise nur solche, deren eines Glied destillirtes Wasser ausmacht.

Dass auch hier mit den Wild'schen Hydro-Thermoströmen, soweit unsere Kenntniss dieser Ströme reicht, nichts anzufangen sei, braucht kaum bemerkt zu werden.

Vielleicht ist es aber falsch, hier bloss die Flüssigkeiten im Muskel und Nerven als bei der Elektricitätserregung betheiligt zu betrachten. Durch meine Erfahrungen über die Nobili'schen Thon-Thermoströme, über die Ströme der menschlichen Haut u. s. w., wurde ich früher schon zu der Vorstellung gedrängt, dass bei solchen porösen Halbleitern, wie auch die thierischen Gewebe sie darstellen, auch das halbleitende Gerüst eine elektromotorische Rolle spiele.[1] Aehnliches mag hier gelten: allein mit solchen Muthmassungen ist wenig gethan.

[492] Allerdings giebt es eine Stromursache, welche gerade unter solchen Verhältnissen thätig ist, wie wir sie eben in den thierischen Geweben annahmen, und welche unter Umständen eine Kraft erzeugt, die mehr als ausreicht, um die elektrischen Erscheinungen an den Nerven und Muskeln zu erklären. Dies ist (vergl. oben S. 262) die von Hrn. Georg Quincke entdeckte, von der die Diaphragmaströme herrühren. Die Muskeln und Nerven lassen sich als poröse Körper auffassen, durch welche hindurch Flüssigkeiten unter mechanischem Druck, oder unter der Einwirkung von Diffusionskräften, oder von elektrischen Triebkräften sich bewegen können. Gleichviel woher die Bewegung stamme, sie wird, nach Hrn. Quincke, von einer elektromotorischen Wirkung in ihrem Sinne begleitet sein. Wenn nun aber auch, wie ich es bei einer früheren Gelegenheit andeutete, die Möglichkeit da ist, die Entstehung der Elektrotonusströme auf diesem Wege zu begreifen,[2] so möchte es doch nicht leicht sein, eine Vorstellung zu ersinnen, wonach der Strom des ruhenden Muskels oder Nerven auf das Schema eines Diaphragmastromes zurückgeführt würde, geschweige eine solche, wonach eine elektromotorische Molekel als ein kleiner Diaphragmaapparat erschiene. Obschon ferner mit destillirtem Wasser und Diaphragmen aus Schwefel, Quarzsand, Seide u. d. m. bei mässigem Druck bei weitem grössere elektromotorische Kräfte erzeugt werden, als die deren wir bedürfen, würde mit destillirtem Wasser und thierischer Blase erst bei über 10 Atmosphären Druck, unter der Voraussetzung einer so weit reichenden Proportionalität zwischen Druck und Kraft, letztere gross genug sein, um den Muskelstrom zu erklären, d. h. 0·16 Daniell betragen; während bei der geringsten Ver-

[1] S. oben Bd. I. S. 27.

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1860. S. 542. Anm. 1.

unreinigung des destillirten Wassers die Kraft wieder zur Unmerklichkeit herabsinkt.[1]

Noch eine andere Schwierigkeit bietet sich für das Verständniss des Vorganges in den elektromotorischen Molekeln dar. Wir haben, der gewöhnlichen Vorstellung entgegen, ge- [493] funden, dass die Flüssigkeitsketten keinesweges beständig sind. Vielmehr sinkt deren Kraft schnell, und es kann auch kaum anders sein. Wenn zwei Flüssigkeitsmassen entweder in wagerechter Ebene durch ihre Dichte, oder sonst durch eine poröse Wand geschieden, einen Strom erzeugen, sind auch stets die Bedingungen für ihre Vermischung und, wenn sie chemisch aufeinander wirken, für die Erzeugung von Zwischenproducten an der Grenze gegeben, und der Anfangszustand wird nur annähernd durch die Diffusion gewahrt, welche jene Producte zu entfernen und wieder Bestandtheile der beiden ursprünglichen Flüssigkeiten an deren Stelle zu setzen strebt. Bei den elektromotorischen Molekeln scheint es undenkbar, dass die Diffusion ausreichen solle, um den Vorgang auch nur in dem Maasse zu unterhalten, wie bei zwei ausgedehnten Flüssigkeitsmassen. Sie wird zwar gebildete Producte fort, und in die Masse des umgebenden, die Kette schliessenden Leiters schaffen, aber nicht bewirken können, dass die zur Fortsetzung des Processes nöthigen Theilchen, die Ersatztheilchen, an die richtige Stelle, in die richtige Stellung rücken. Sie wird nur so viel leisten, dass die Ersatztheilchen in der einen oder anderen Gestalt neben den gebildeten Producten in der umgebenden Flüssigkeit gleichsam zur Hand sind. Um diese Theilchen zu fassen und gehörig einzuordnen, so dass ein Paar ungleichartiger Theilchen wieder im richtigen Sinn einander gegenüberstehen, und dass die im Process zu Grunde gehende elektromotorische Fläche stets wieder erneuert werde, dazu fehlt es an jedem denkbaren Mittel. Dennoch kann es nicht zweifelhaft sein, dass die elektromotorischen Molekeln die Flüssigkeitsketten weit an Beständigkeit hinter sich lassen. Während des unversehrten Lebens stellen wir sie uns als in ununterbrochener Thätigkeit vor; aber sogar der Strom zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt eines Muskels, vollends der natürliche Neigungsstrom zwischen Haupt- und Achillessehne eines Gastroknemius, ist ohne Vergleich beständiger als der einer Säure-Alkali-Kette. Es erhellt somit die Nothwendigkeit, neben den allgemeinen physikalischen Kräften, hier noch besondere Einrichtungen anzunehmen, von denen wir uns freilich für jetzt so wenig ein Bild zu machen wissen, als von denen, [494] welche den Theilchen eines wachsenden Krystalls oder einer Zelle

---

[1] Vergl. Quincke in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1859. Bd. CVII. S. 1; — 1860. Bd. CX. S. 38.

ihren Ort und ihre Stellung mehr oder minder stabilen Gleichgewichtes anweisen.

Bei einer solchen Lage wäre es müssig, auch noch die RANKE'schen Thatsachen in den Kreis der Betrachtung zu ziehen, obschon dies nicht gerade als das Schwierigste erscheint. Auch die von Hrn. H. MUNK schon einmal erörterte Frage, ob die Muskelprismen (BOWMAN's sarcous elements), beziehlich die BRÜCKE'schen Disdiaklasten, mit den elektromotorischen Molekeln einerlei seien,[1] bleibt besser vorläufig unerörtert.[2]

Das Ergebniss, zu dem wir gelangt sind, ist also schliesslich, dass wir mit unseren bisherigen Kenntnissen nicht ausreichen, um uns von den elektromotorischen Molekeln als Stromerregern eine einigermaassen befriedigende Vorstellung zu machen. Es ist aber nicht so paradox, als es klingt, wenn behauptet wird, dass gerade in dieser Einsicht ein erster Schritt zur physikalischen Theorie jener hypothetischen Gebilde liege.

## §. XII. Ueber Ströme in Kreisen nur aus flüssigen Leitern.

In allen ächten Flüssigkeitsketten, wo die metallischen Multiplicatorenden in gleichartige Flüssigkeiten tauchen, spielt der Multiplicatordraht nur die Rolle eines unwirksamen leitenden Bogens, und muss er, unbeschadet der Stromkraft, durch einen Flüssigkeitsbogen zu ersetzen sein. Von diesem Standpunkt aus haben die thierisch-elektrischen Ströme längst wenigstens das eine Räthselhafte eingebüsst, was ihnen in VOLTA's Augen anhaftete, nämlich Ströme in Kreisen nur aus Leitern zweiter Klasse zu sein. Wenn VOLTA ihrethalben diese Klasse in zwei Unterabtheilungen spaltete, deren eine die wirklich flüssigen Leiter, die andere die einsaugungsfähigen organischen Körper enthielt,[3] so wissen wir jetzt durch Hrn. WILD, dass, ganz ab- [495] gesehen von der Gegenwart solcher Körper, deren Einfluss erst zu beweisen wäre, die Elektrolyte in verschiedene Reihen zerfallen, deren Glieder eine sogenannte VOLTA'sche Spannungsreihe ausmachen, während die Glieder zweier Reihen keinem solchen Gesetze gehorchen. Inzwischen sind die Versuche über Flüssigkeitsketten fast stets mit Vertheilung der einen Flüssigkeit in zwei Massen, und

---

[1] Nachrichten von der G. A. Universität u. s. w. zu Göttingen. 1858. S. 1.

[2] [Ebenso wenig mag ich schon die Vermuthungen zur Sprache bringen, auf welche man gegenüber den neueren Ermittelungen über den Bau der Muskelfaser und deren Veränderung bei der Thätigkeit jetzt hier fast unwillkürlich geräth.]

[3] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 92.

Eintauchung gleichartiger Multiplicatorenden in diese Massen, angestellt, und man könnte verlangen, die Analogie der Flüssigkeitsketten und der thierischen Erreger dahin vervollständigt zu sehen, dass man die Wirksamkeit von Flüssigkeitsketten in Kreisen nur aus feuchten Leitern darthäte.

Mit der Elektrolyse wird dies nicht zu bewerkstelligen sein. Denn obschon die Ausscheidung von Ionen ausnahmsweise an der Grenze von Elektrolyten stattfindet, so geschieht dies doch erst bei ganz anderen Stromstärken, als den in den Flüssigkeitsketten vorhandenen.[1] Ein Versuch, den Hr. Fechner anstellte, Jodkaliumlösung zwischen Kochsalzlösung, in der oben S. 266. 267 besprochenen scheinbaren Flüssigkeitskette aus Schwefelleber und Kupfervitriol, sichtbar zu zersetzen, blieb ohne Erfolg.[2] Ebensowenig dürfte die thermische Wirkung oder die elektromagnetische Fernwirkung des Stromes hier ein brauchbares Mittel abgeben, um sich von seinem Dasein zu unterrichten.

Vielmehr ist der richtige Weg uns hier sichtlich durch die Zuckung ohne Metalle gewiesen. Der stromprüfende Froschschenkel bietet das beste Mittel dar, die Wirkung der Flüssigkeitsketten ohne Einschaltung von Metallen zu prüfen. Hr. Becquerel der V. hat vor längerer Zeit zuerst diesen Weg betreten, wobei es aber, abgesehen von einer Menge unnützer Verwickelungen, zweifelhaft blieb, ob wirklich die Zuckungen von dem Strome der Säure-Alkali-Kette herrührten.[3] Hr. Matteucci hat später, ohne Hrn. Becquerel zu nennen, den Versuch in besserer Gestalt vorgebracht.[4] Am einfachsten, [496] sichersten und zierlichsten aber lässt er sich folgendermaassen anstellen.

Von zwei Gefässen wird das eine mit Salpetersäure, das andere mit Kalihydratlösung gefüllt. Auf einander gegenüberstehenden Punkten der Ränder dieser Gefässe werden rechtwinklig geknickte Thonstäbe so aufgesetzt, dass das eine Ende des Stabes senkrecht in die Flüssigkeit taucht, das andere wagerecht dem entsprechenden Ende des anderen Stabes entgegenragt. Ueber die beiden wagerechten Enden wird der Nerv des stromprüfenden Schenkels gebrückt. Wird nun ein mit Salpetersäure gefülltes, an beiden Enden mit Fliesspapier verstopftes Heberrohr abwechselnd in die Gefässe getaucht und abgehoben, so erfolgt lebhafte Zuckung, je nach den Umständen nur bei der Schliessung, nur bei der Oeffnung, oder in beiden Augenblicken. Die Richtung des Stromes ist, wie wir

1 S. oben Bd. I. S. 10. 11.
2 A. a. O. S. 248.
3 Comptes rendus etc. 29 Mars 1847. t. XXIV. p. 505.
4 Comptes rendus etc. 31 Décembre 1849. t. XXIX. p. 806. 807.

von früher her wissen (s. oben S. 269), vom Kali zur Säure in der Kette; ebendaher sind uns die Gründe für die Ueberlegenheit der gewählten Anordnung in elektromotorischer Beziehung bekannt.

Auch durch Induction lassen sich natürlich Ströme in Kreisen nur aus feuchten Leitern erzeugen, doch scheint es nicht ganz leicht zu sein, sie sichtbar zu machen, wenigstens missglückten mir zwei Versuche, die ich vor langer Zeit dazu anstellte. Das eine Mal experimentirte ich, im April 1849, in Halle durch die Güte des Hrn. Professors Hankel an einem grossen Elektromagnet, zwischen dessen kegelförmigen Polspitzen der Bancalari'sche Flammenversuch sehr schön gelang. Ein in Gestalt eines Doppelbechers ausgehöhlter Kork wurde zwischen die Polspitzen gebracht, und der Nerv des stromprüfenden Schenkels ringförmig darum geschlungen. Beim Schliessen und Oeffnen der Kette blieb der Schenkel in Ruhe. Das zweite Mal experimentirte ich (im October desselben Jahres) durch die Güte des Hrn. Professors Poggendorff an dem der Akademie der Wissenschaften gehörigen Elektromagnet. Der Magnet zeigte abermals den Flammenversuch; Froschmuskeln stellten sich äquatorial im magnetischen Felde, beiläufig auch dann, wenn ich daran einen künstlichen Querschnitt angelegt und sie in einen [497] Ring gebogen hatte, worin der Muskelstrom kreiste, so dass der Diamagnetismus die elektromagnetische Richtkraft des Muskelstromes überwog. Ich suchte diesmal den Widerstand des Kreises dadurch zu verkleinern, dass ich einen mit gesättigter Kochsalzlösung getränkten Bausch ringförmig um die Polspitzen bog, über dessen mit Eiweisshäutchen bekleidete Enden ich den Nerven brückte. Doch blieb auch hier beim Schliessen und Oeffnen der Kette Alles in Ruhe. Seitdem hat Hr. Faraday die früher nur mittelbar[1] von ihm nachgewiesene Induction in feuchten Leitern mittels eines mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Kautschukschlauches am Multiplicator unmittelbar dargethan.[2] Es ist kein Zweifel, dass bei seiner Anordnung auch der stromprüfende Schenkel gezuckt hätte.

---

[1] Experimental Researches etc. Reprinted from the Philosophical Transactions. London 1839. vol. I. p. 54. Ser. II. No. 184. 188. 191. 200. 201. 213. 214.

[2] Archives des Sciences physiques et naturelles. Mars 1854. t. XXV. p. 267; — Philosophical Magazine etc. April 1854. 4. Series. vol. VII. p. 265; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1854. Bd. XCII. S. 299. — [Vergl. Hermann in Poggendorff's Annalen u. s. w, 1871. Bd. CXLII. S. 586.]

XXII.

# Neue Versuche über den Einfluss gewaltsamer Formveränderungen der Muskeln auf deren elektromotorische Kraft.

(Gelesen in der Gesammtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 18. Juli 1867.)[1]

## §. I. Aeltere Versuche des Verfassers über den Einfluss der Dehnung und Zusammendrückung auf die elektromotorische Kraft der Muskeln.

Bei der Erörterung der Ursachen, die der negativen Schwankung des Muskelstromes im Tetanus zu Grunde liegen konnten, wurde ich, vor mehr als zwanzig Jahren, auf den Gedanken geführt, dass vielleicht der Druck dabei im Spiele sei, den der sich verkürzende Muskel auf sich selber ausübt. Ich hatte überdies, um die Gestaltveränderung des Muskels bei der Zusammenziehung zu beseitigen, den Muskel ausgespannt, und gesehen, dass im gespannten Zustande seine elektromotorische Kraft geringer sei. Ich hatte so doppelten Anlass, den Einfluss zu untersuchen, den gewaltsame Formveränderungen, wie Dehnung und Pressung, auf die elektromotorische Thätigkeit des Muskels üben; und ich verfolgte eine Zeitlang diesen Gegenstand mit allen mir zu Gebote stehenden Mitteln, so dass die Darlegung dieser Untersuchung in der ersten Ab- [573] theilung des zweiten Bandes meines Werkes keinen unbedeutenden Platz einnimmt.[2]

Das Dehnen des Muskels, wenn man sich auf den Gastroknemius des Frosches beschränken wollte, war sehr leicht ausführbar. Ich liess dem Muskel bei der Zurichtung einerseits das untere Ende des Oberschenkelbeines, andererseits ein Stück der Fusswurzel, zog die oberen

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1867. S. 572.

[2] S. das. S. 65 ff. 129—142.

Sehnen (die Haupt- und Nebensehne)[1] und die Achillessehne durch Schlitze in zwei einander gegenüber aufgestellten Elfenbeinplatten, und entfernte diese von einander mit der nöthigen Kraft, während der Strom von den ausserhalb der Platten befindlichen Knochenstücken abgeleitet wurde. Das Ergebniss war, dass der Strom beim Dehnen des Muskels sank, während des Gedehntseins kleiner blieb, und beim Nachlassen wieder anschwoll. Dass es sich dabei nicht um Vermehrung des Widerstandes, sondern um Verminderung der elektromotorischen Kraft handele, bewies ich, indem ich den Versuch an dem einen von zwei einander im nämlichen Kreise entgegenwirkenden Muskeln, oder auch mit einem so grossen Widerstande im Kreise anstellte, dass die Vergrösserung des Widerstandes des Muskels durch die Dehnung nicht in Betracht kam.

Ebenso leicht war es, den Muskel senkrecht auf die Axe zusammenzudrücken. Dazu brachte ich ihn in ein Rohr, welches durch einen Lederstreifen gebildet wurde, der nicht ganz so breit war, wie der Muskel lang, und dessen Enden durch zwei parallele, von einander etwa um den Dickendurchmesser des Muskels entfernte Schlitze in einer Elfenbeinplatte gingen. Indem diese Enden angezogen wurden, erlitt der Muskel in dem sich verengenden Rohr einen Druck; der Strom wurde von den an beiden Mündungen des Rohres zugänglichen sehnigen Enden des Muskels abgeleitet. Der Erfolg war auch hier meist eine geringere Kraft des Muskels während der Zusammendrückung; doch kam zuweilen das Entgegengesetzte vor.

[574] Die Zusammendrückung des Muskels der Länge nach geschah in einem Elfenbeinrohre mittels eines Elfenbeinstempels. Der Muskel konnte dabei, vermöge einer eigenthümlichen Einrichtung, an Querschnitt zunehmen, indem meine Absicht war, ihn so viel wie möglich so zusammenzudrücken, wie er selber es bei der Verkürzung thut. Auch hier erfolgte bald Abnahme, bald Zunahme der Kraft während der Zusammendrückung; letzteres, wie mir schien, verhältnissmässig öfter als beim Druck senkrecht auf die Axe.

Als ich später die parelektronomische Schicht am natürlichen Querschnitt erkannt hatte, wiederholte ich diese Versuche mit Muskeln auf verschiedenen Stufen der Parelektronomie. Ich fand, dass auch an negativ wirksamen Gastroknemien die Dehnung von einer (absolut) negativen Schwankung begleitet ist, d. h. dass durch die Dehnung der Muskel stärker negativ wirksam wird. Ferner bemerkte ich bei diesen neuen Versuchen, dass das Abspannen eines gedehnt gewesenen (positiv wirksamen) Muskels nicht immer, wie es nach dem Obigen sollte, Ver-

[1] S. oben S. 72.

mehrung, sondern zuweilen weitere Verminderung der Kraft nach sich zieht. Die mit den Compressorien erhaltenen positiven Wirkungen bezeichnete ich jetzt als verdächtig, insofern sie vielleicht nur von Schwächung der parelektronomischen Schicht herrührten.[1]

### §. II. Hrn. Meissner's Versuche über denselben Gegenstand.

Zwölf Jahre nach meiner ersten Mittheilung hat Hr. Prof. Meissner in Göttingen, ohne sie zu erwähnen, über denselben Gegenstand eine Untersuchung bekannt gemacht, wobei er sich aller der Vortheile erfreute, welche die Ableitung des Stromes durch unpolarisirbare Elektroden, und dessen Beobachtung mit Spiegel, Fernrohr und Scale gewähren.[2] Zum [575] Dehnen des Muskels diente ihm eine Vorrichtung, die im Wesentlichen ganz auf die von mir beschriebene und zum Theil abgebildete hinausläuft, nämlich ein Paar gegeneinander verschiebbarer Elfenbeinplatten mit Schlitzen, durch welche die oberen Sehnen und die Achillessehne gezogen sind, während die daran gelassenen Knochenstücke sie am Durchgleiten verhindern. Dagegen zur Ableitung des Stromes schlug Hr. Meissner einen von dem meinigen verschiedenen Weg ein.

„Um den Muskel", sagt er, „wurde etwa in der Mitte seines Bauchs „ein (mit Eiweiss getränkter) Faden feiner weisser Wolle umgeschlungen „und leicht zugeknüpft, so dass derselbe eine fest anliegende, weder ein- „drückende noch leicht verschiebbare Schlinge um den Muskelbauch bil- „dete. Diese Schlinge ist bestimmt, die Ableitung vom natürlichen „Längsschnitt des Muskels zu übernehmen; von ihr geht ein Ende „des Fadens zu dem einen Zuleitungsgefäss. Ein zweiter Wollfaden „wurde mittelst einer Nadel durch eine der Sehnen des Muskels hindurch- „gezogen, zur Ableitung des sogenannten natürlichen Querschnitts; „dieser Faden verlief zu dem andern Zuleitungsgefäss."[3]

Genau derselben Vorrichtungen bediente sich Hr. Meissner, um den Muskel der Länge nach zusammenzudrücken. Dazu nämlich näherte er einander einfach die beiden Elfenbeinplatten. Er sagt dabei selber:

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. 1860. S. 158. 159.

[2] Zur Kenntniss des elektrischen Verhaltens des Muskels. Vorläufige Mittheilung. In den Nachrichten von der G. A. Universität u. s. w. 1861. S. 214; — Dieselbe mit einem Zusatz in Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. R. Bd. XII. S. 344; — Ueber das elektrische Verhalten des thätigen Muskels. Ebendaselbst 1862. Bd. XV. S. 27. — S. auch den Bericht über die Fortschritte der Physiologie im Jahre 1862. Ebendaselbst 1864. Bd. XIX. S. 434.

[3] Ueber das elektrische Verhalten des thätigen Muskels. A. a. O. S. 29.

„Man kann den Zustand der Contraction, der Verkürzung der Muskel-„fasern durch Druck nur sehr unvollkommen nachahmen; die geringeren „Grade der Verkürzung lassen sich wohl herstellen durch Compression, „wenn man gehörig Sorge trägt, dass der Druck genau in der Richtung „der Längsaxe des Muskels wirkt; aber bei höheren Druckgraden ist mit „der Compression immer eine Knickung und damit wahrscheinlich „Dehnung einzelner Fasermassen verbunden. Dies aber hindert nicht", fährt Hr. Meissner fort, „mit den Leistungen unseres Apparates in „dieser Beziehung [576] ganz zufrieden zu sein, weil die Beobachtungen „eine grosse Constanz und Regelmässigkeit zeigen." [1]

Die Zusammendrückung senkrecht auf die Axe nahm Hr. Meissner vor, indem er theils den Muskel seiner ganzen Länge nach zwischen zwei ebenen Platten, theils nur beschränkte Stellen des Muskels mittels schmaler Instrumente quetschte. Im ersteren Fall erhielt er positive, im letzteren negative Schwankung. Doch da er selber diese Versuche für unfertig und deren Ergebnisse für unsicher erklärt, wollen wir nicht dabei verweilen.[2]

Was die Zusammendrückung der Länge nach und die Dehnung betrifft, so gelangte Hr. Meissner zuerst zu dem Ergebniss, dass der Strom durch die Zusammendrückung abnehme, durch die Dehnung wachse.[3] Später änderte er seine Aussage in Betreff der letzteren dahin ab, dass der Strom in Bezug auf die dem Muskel ertheilte Länge ein Maximum habe, dass er also bis zu einem gewissen Grade der Dehnung wachse, darüber hinaus abnehme. Dabei versäumte Hr. Meissner jedoch den Beweis zu führen, dass diese Abnahme auf Verminderung der elektromotorischen Kraft, und nicht einfach auf Vermehrung des Widerstandes beruhte.

Jenem Maximum schreibt er bei verschiedenen Fröschen eine nach ihrem allgemeinen Körperzustande verschiedene Lage zu. Je frischer und kräftiger die Thiere seien, bei um so stärkerer Dehnung werde das Maximum erreicht, an den Muskeln lange gefangener, matter Frösche dagegen sei die geringste Dehnung sofort mit einer Abnahme verbunden.[4]

---

[1] Ueber das elektrische Verhalten des thätigen Muskels. A. a. O. S. 38.

[2] Zur Kenntniss des elektrischen Verhaltens des Muskels. A. zweiten a. O. S. 347.

[3] Ebendaselbst S. 346.

[4] Zusatz zur „Vorläufigen Mittheilung" in der Zeitschrift für rationelle Medicin. A. a. O. S. 351. 352.; — Ueber das elektrische Verhalten u. s. w. A. a. O. S. 36. 37.

## §. III. Kritik der Meissner'schen Versuche.

Diese Angaben stimmten, wie man sieht, schlecht mit meinen Beobachtungen, indem ich bei der Dehnung nur aus- [577] nahmsweise, dagegen bei der Zusammendrückung der Länge nach ziemlich häufig eine Zunahme der Kraft hatte erfolgen sehen. Da Hr. Meissner über weit vollkommnere Mittel zur Beobachtung des Stromes gebot, als ich bei jenen älteren Versuchen, und da er, bei der Dehnung wenigstens, den Erfolg vom Körperzustande des Frosches abhängig machte, so glaubte ich gern, dass er Dinge gesehen habe, die mir entgangen waren. Um so geneigter war ich dazu, als sich mir auch sofort, wie die Folge lehren wird (s. unten S. 306), eine sehr einfache und ansprechende Erklärung des von Hrn. Meissner behaupteten Verhaltens darbot. Ausserdem konnte die verschiedene Art der Ableitung des Stromes in Hrn. Meissner's und meinen Versuchen zu dem verschiedenen Erfolge beitragen.

Ich selber war damals mit anderen Fragen zu beschäftigt, um ohne dringende Veranlassung diese wieder aufzunehmen. Ich machte daher brieflich Hrn. Meissner auf meine Versuche aufmerksam, welche ihm unbekannt geblieben zu sein schienen, und erbot mich, ihm die noch im Besitze des hiesigen physiologischen Laboratoriums befindlichen Vorrichtungen zu übersenden, mit denen ich früher gearbeitet hatte, damit er im Stande sei, unter möglichst gleichen Umständen mit mir zu experimentiren, und den Grund der Abweichung zwischen seinen und meinen Ergebnissen desto sicherer aufzufinden. Hr. Meissner nahm aber, in einem Schreiben vom 29. September 1861, dieses Anerbieten nur unter der Bedingung an, dass „es ihm gestattet sein solle, die Versuche mit „Hülfe der (ihm eigenthümlichen) Ableitung, die er als sehr zweckmässig „erkannt habe, zu wiederholen;“ eine Bedingung, auf die ich nicht einging, weil dadurch der Zweck meines Anerbietens vereitelt wurde.

Warum Hr. Meissner, auch nachdem ich ihn mit deren Dasein bekannt gemacht, fortgefahren hat, meine Versuche über den Einfluss der Dehnung auf die elektromotorische Kraft der Muskeln zu ignoriren, weiss ich nicht. Meiner Versuche über den Einfluss der Zusammendrückung hat er dagegen gedacht, und die Ursache des Unterschiedes zwischen unseren Ergebnissen in die Verschiedenheit des Versuchsverfahrens gelegt. „In dieser Beziehung aber“, sagt er, „müssen wir unsere „Beobachtungen vorziehen, denn das ganze Verfahren des Versuchs, „welches du Bois [578] einschlug, steht dem unsrigen nach, sowohl was „die Regulirung der Compression, die Controlirung der Integrität des

„Muskels, als was die Ableitung des dem Versuch unterworfenen Muskels „nach dem Galvanometer betrifft.“

Wenige Worte werden indess genügen, um zu zeigen, dass am Gastroknemius des Frosches, den Hr. Meissner, abgesehen von einigen Versuchen an Säugethiermuskeln, stets benutzte,[1] die Art der Ableitung, worauf er solchen Werth legt, nicht nur im Vergleich zur meinigen unvollkommen, sondern auch an sich verwerflich ist. Obschon Hr. Meissner, nach den in seinem Jahresbericht Hrn. Budge gemachten Einwänden[2] zu schliessen, dessen Irrthümer hinsichtlich des Gastroknemius-Stromes[3] nicht theilte, handelte er doch so, als sei auch er darin befangen. Er verfuhr (s. oben S. 300), als ob am Gastroknemius der Umfang des Muskels mit Einschluss des Achillesspiegels natürlichen Längsschnitt, die beiden sehnigen Enden natürlichen Querschnitt vorstellten. Der Strom, den Hr. Meissner im Kreise hatte, war aber im Wesentlichen nichts anderes, als der Neigungsstrom des unter dem Achillesspiegel verborgenen schrägen natürlichen Querschnittes. Je nachdem das obere oder das untere Ende des Muskels abgeleitet wurde, ging der Strom nur von dem Theile des Achillesspiegels oberhalb oder unterhalb der den Muskelbauch umgebenden Schlinge aus; und es kam so nur immer ein Theil der nach aussen wirksamen elektromotorischen Kraft des Muskels zur Verwendung. Unter Umständen zwar, z. B. wenn bei Ableitung des Stromes mittels des einen Fadens vom oberen Ende der andere Faden die Muskeloberfläche am Achillesspiegel verliess, mischte sich auch ein schwacher Strom vom natürlichen Längsschnitt zum schrägen natürlichen Querschnitt ein; aber freilich im umgekehrten Sinne von dem, wie es scheint, von Hrn. Meissner vorausgesetzten. Jede Verschiebung der Schlinge nach oben [579] oder nach unten, und jede Drehung der Schlinge um den Muskel in ihrer auf dessen Axe senkrechten Ebene musste eine Veränderung des Stromes nach sich ziehen. Da bei der Dehnung des Muskels die Schlinge lose wird, und an dem von Hrn. Meissner senkrecht aufgestellten Muskel hinabgleiten kann, da sie auch bei der Zusammendrückung leicht verschoben wird, und jedenfalls der Punkt, wo der ableitende Faden die Muskeloberfläche verlässt, sich verändert; so ist die Beständigkeit der Kraft bei dieser Art der Ableitung, was auch Hr. Meissner sagen möge, nicht gesichert. Das Eiweiss greift

---

[1] Zusatz zur „Vorläufigen Mittheilung“. A. a. O. S. 351; — Ueber das elektrische Verhalten u. s. w. A. a. O. S. 29.

[2] Bericht über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie im Jahre 1860. S. 471.

[3] S. oben S. 68 ff.

die parelektronomische Schicht am Achillesspiegel an,[1] so dass im Verlauf des Versuches die Bedingungen ganz andere werden können. Es gerinnt in Berührung mit der Zinklösung, und im Gerinnsel entsteht secundärer Widerstand.[2] Die Zinklösung kann durch den Faden zum Muskel gelangen, wogegen Hr. Meissner sich durch sorgfältige „Regulirung der Heberwirkung" schützen musste.[3] Die Handhabung der Fäden überhaupt ist, wenn auch nicht schwierig, doch immer mit Zeitverlust verknüpft, und eine Arbeit mehr für den Experimentirenden. Die sonst bei Versuchen am Muskel allein, falls sie nicht sehr lange dauern, entbehrliche feuchte Kammer wird dadurch wieder nöthig. Endlich der Widerstand wird durch die Fäden so erhöht, dass Hr. Meissner seiner Bussole dieselbe Empfindlichkeit ertheilen musste, wie für den Nervenstrom. Dies hat den Nachtheil, dass der Nullpunkt unstetig wird und der Spiegel langsamer schwingt, so dass die einzelne Beobachtung mehr Zeit erfordert, und flüchtige Stromschwankungen sich leichter der Wahrnehmung entziehen.

Hätte Hr. Meissner bedacht, was er doch selber Hrn. Budge vorhielt, dass die beiden Enden des Gastroknemius nicht, wie am regelmässigen Muskel, die beiden natürlichen Querschnitte vorstellen; dass ebensowenig der Durchschnitt einer die Muskellänge senkrecht hälftenden Ebene mit dem Muskelumfang [580] hier der Aequator ist; so würde er gar nicht auf seine Art der Ableitung verfallen sein, sondern anstatt die meinige zu tadeln, würde er sie vielleicht nacherfunden haben, da sie in der That hier die einzig richtige ist. Zwischen Hauptsehne und Achillessehne herrscht nahezu der höchste am unversehrten Muskel vorhandene Spannungsunterschied.[4] Was kann besser sein, als sich zur Ableitung des Stromes der ausserhalb der Schlitze, worin die Sehnen stecken, befindlichen Knochenstücke zu bedienen, welche die Natur selber doch wohl unverrückbarer mit bestimmten Punkten der Muskeloberfläche verknüpft hat, als dies mit noch so geschickt befestigten Fäden glücken kann. Das aus der Fusswurzel zugeschnittene untere Knochenstück wirkt, wegen der darin enthaltenen Muskeln, leicht für sich elektromotorisch. Man kann aber nicht allein, wie ich dies anfangs that,[5] diese Muskeln dadurch der Wirksamkeit berauben, dass man sie wärmestarr

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 49 ff.; — Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1851. S. 387.

[2] S. oben Bd. I. S. 108. 123.

[3] Ueber das elektrische Verhalten u. s. w. A. a. O. S. 30.

[4] S. oben S. 90.

[5] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 132.

macht, sondern man kann auch, wie ich dies später empfahl,[1] das Knochenstück entfernen und mittels eines über dem Sesamknorpel um die Achillessehne gebundenen Fadens diese an die Elfenbeinplatte hinreichend befestigen, um den Muskel bis zur Zerreissung zu spannen. Endlich kann man sogar, wie ich seitdem fand und jetzt zu thun pflege, einfach für die Achillessehne einen so engen Schlitz anwenden, dass der Sesamknorpel nicht hindurchgeht. Das obere Knochenstück lässt sich so frei von Muskelresten herstellen, dass es nicht merklich elektromotorisch wirkt. Eine beständige elektromotorische Kraft, die sich zur Muskelkraft algebraisch summirt, schadet übrigens nichts, insofern es sich um Schwankungen der Kraft handelt. Nichts ist sodann leichter, als zu machen, dass die Thonschilder der Zuleitungsgefässe dem oberen Knochenstück und dem Sesamknorpel bei der Veränderung des Abstandes der Elfenbeinplatten unverrückt anliegen, und sollten sie dies nicht, so entspringt daraus kein Nachtheil, weil eine Veränderung der Kraft dadurch nicht entstehen kann, der Widerstand des Muskels sich ohnedies än- [581] dert, und man sich also hier nicht, wie Hr. Meissner, mit der Beobachtung von Stromstärken begnügen, sondern, wie ich schon vor Jahren that, durch die Methode der Compensation überzeugen wird, dass den beobachteten Schwankungen der Stromstärke auch solche der Kraft entsprechen. Bei dem grossen Widerstande, den Hr. Meissner mit seinen Eiweissfäden in den Kreis brachte, wird wohl, was er von Veränderungen der Stromstärke beobachtete, meist auf solchen der Kraft beruht haben. Wenn man aber, wie Hr. Meissner, seine Versuche sonst so vollständig mittheilt, dass man nicht bloss die der Stromstärke proportionalen Unterschiede der Magnetometerstände, sondern ausserdem auch noch diese selber abdruckt, die doch nichts lehren können, als dass richtig subtrahirt worden sei, und wenn man dabei zu sagen versäumt, wie man dazu komme, ohne Weiteres Schwankungen der Stromstärke für solche der Kraft zu nehmen, so setzt man sich dem Verdacht aus, dass man die Nothwendigkeit der letzteren Begründung übersehen habe.

## §. IV. Neue Versuche über den Einfluss der Dehnung auf die Muskelstromkraft. Am Gastroknemius hängt diese davon ab, ob der Achillesspiegel geglättet oder in Falten gelegt ist.

Bei den neuen Versuchen, zu welchen ich mich nun entschloss, diente mir zum Dehnen des Muskels eine der früheren ganz ähnliche

[1] Ebenda, Abth. II. S. 143.

Vorrichtung, nur dass sie in ihren Maassen auf die neuen Zuleitungsgefässe[1] berechnet war, und dass ich die Verschiebung des Schlittens, der die eine Elfenbeinplatte nebst dem einen Zuleitungsgefässe trug, statt mit der Hand, mit Zahn und Trieb bewerkstelligte. Den Betrag der Verschiebung konnte ich an einer Millimetertheilung ablesen. Hr. Meissner scheint auf diese Messung Werth zu legen;[2] ich gab sie bald auf, da sich die Vermuthung bestätigte, die ich sogleich hegte, dass es illu- [582] sorisch sei, dem Muskel dieselbe Spannung dadurch wieder ertheilen zu wollen, dass man den Elfenbeinplatten denselben Abstand giebt, weil nämlich der Muskel durch die Dehnung auch dauernd verlängert wird. Stets war in meinen Versuchen der Kreis des Muskels und der Bussole zugleich der Messkreis des Compensators,[3] in dessen Hauptleitung sich eine Grove'sche Kette befand, und es handelt sich demgemäss im Folgenden nur um Veränderungen der elektromotorischen Kraft.

Als ich mit dieser Vorrichtung Dehnungsversuche, zunächst nur am Gastroknemius, anstellte, stiess ich bald auf Erscheinungen, welche den von Hrn. Meissner beschriebenen glichen. Oft erhielt ich, durch Anspannen des Muskels, zuerst Zunahme der Kraft, bei stärkerer Dehnung Abnahme. Beim Abspannen des Muskels erfolgte häufig, statt Wiederzunahme, weiteres Sinken der Kraft, wie ich dies in einzelnen Fällen schon vor Hrn. Meissner wahrgenommen hatte (s. oben S. 299. 300).

Nichts schien übrigens leichter (vergl. oben S. 302), als diese Erscheinungen aus meiner Theorie abzuleiten. Die Neigungsstromkraft hat, wie ich zeigte, ein Maximum in Bezug auf den stumpfen Winkel des Querschnittes mit der Faserrichtung. Beim Dehnen des Gastroknemius vergrössert sich dieser Winkel; möglicherweise beruhte hierauf das Maximum der Kraft beim Dehnen des Muskels, insofern die Neigung des Querschnittes bei der natürlichen Länge des Muskels noch nicht die günstigste wäre. Die Abnahme der Kraft beim Zusammendrücken würde sich so gleichfalls ergeben. Wie man an einem senkrechten Muskelprisma durch diagonale Dehnung Neigungsströme hervorruft,[4] so würde hier durch die Dehnung ein schon vorhandener Neigungsstrom verändert.

Allein eine etwas genauere Betrachtung zeigte mir bald, dass hier jedenfalls noch ein anderer, viel einfacherer und ganz handgreiflicher Umstand im Spiel ist. Ich bemerkte nämlich, dass die [583] Abnahme

---

[1] S. oben Bd. I. Taf. I. Fig. 1.

[2] Ueber das elektrische Verhalten u. s. w. A. a. O. S. 32. 33. 35. 36.

[3] S. oben Bd. I. S. 176. 257; — Bd. II. S. 83. 234.

[4] S. oben S. 138.

der Kraft beim Abspannen jedesmal dann auftrat, wenn der Achillesspiegel sich in quere Falten legte, die Zunahme dann, wenn er sich glättete. Es war gar nicht nöthig, um die Zunahme der Kraft herbeizuführen, dass die beiden Enden des Muskels mit merklicher Kraft von einander entfernt wurden. Es genügte dazu, dass der schlaff herabhängende Muskel mittels eines Glasstabes zur Seite gedrückt und dadurch so weit gespannt wurde, dass die Falten im Achillesspiegel verschwanden.

Nach meiner Lehre geht der im unversehrten nicht parelektronomischen Gastroknemius, abgesehen von dem Gegensatz zwischen Längsschnitt und schrägem natürlichem Querschnitt, aufsteigende Strom von der Grenzschicht dipolar elektromotorischer Molekeln unter dem Achillesspiegel aus, und zwar kann man sich die Grenzschicht, mit gleichem Erfolg, ersetzt denken durch parallele Längsreihen dipolarer Molekeln, deren positive Pole nach oben gekehrt wären. Legt sich der Achillesspiegel in quere Falten, so gerathen die Molekeln in der Tiefe der Falten ausser Spiel, deren elektromotorische Axe eine auf den Spiegel senkrechte und überdies zu beiden Seiten der Falte entgegengesetzte Richtung hat, die Componenten, mit denen sie in der Ebene des Spiegels thätig sind, nehmen ab und heben einander auf, und daher die Abnahme der Kraft. Es ist ungefähr als knickte man eine Pulvermacher'sche Säule, anstatt sie in der Luft ausgespannt zu halten, bis zur Berührung zusammen. Dass sich dies wirklich so verhalte, geht aus folgenden Versuchen hervor.

## §. V. Versuche mit dem von der Muskelmasse des Gastroknemius getrennten Achillesspiegel.

Man kann, wie ich in meinem Werke zeigte, ein elektromotorisch wirksames Präparat herstellen, welches nur aus dem Achillesspiegel besteht, der innen gleichsam mit den Stoppeln der als Halme gedachten, darin eingepflanzten Muskelbündel besetzt ist.[1] Zu dem Ende befestigt man den Muskel mit dem Achillesspiegel nach unten auf einer gefirnissten Korkplatte mittels zweier verkürzter Stecknadeln, die man bis an die Köpfe durch [584] die Haupt- und die Achillessehne stösst, und trägt mittels einer kleinen Cooper'schen Scheere das Fleisch ab, bis nur eine durchscheinend dünne Haut übrig bleibt, welche auf der einen Seite sehnig, auf der anderen schrägen künstlichen Querschnitt bietet. Bringt man diese Haut zwischen die Thonschilder oder besser zwischen zwei den

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. II. S. 108.

Schildern angeknetete Thonzapfen, so erhält man eine mehr oder weniger starke Wirkung von innen nach aussen, oder vom künstlichen zum natürlichen Querschnitt im Präparat. Sie beruht, wie ich kaum zu sagen brauche, auf dem Ueberschuss an Negativität des schrägen künstlichen über den schrägen natürlichen Querschnitt. Bei der jetzigen Ableitung ist die Wirkung viel beständiger, als bei der älteren mittels Eiweisshäutchen, weil das Eiweiss die parelektronomische Schicht angriff und jener Ueberschuss dadurch bald verschwand.

Man kann aber diesem Präparate, worauf ich erst später gekommen bin, noch anders Wirkungen entlocken. Breitet man dasselbe nämlich, gleichviel ob mit der äusseren oder mit der inneren Fläche nach unten auf einer passenden Unterlage, z. B. auf dem früher von mir beschriebenen mit schwarzem Kitt ausgegossenen Uhrglas[1] aus, und berührt man zwei verschieden hoch gelegene Punkte mit den Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren, so erhält man ausnahmslos einen im Präparat absteigenden Strom. Er ist nur schwach, so dass man wohlthut, zu seiner Beobachtung den Magnetspiegel astatisch zu machen; aber die Schwäche rührt nur von dem grossen Widerstande des Präparates her, und es liegt ihm eine sehr ansehnliche Kraft zu Grunde. Diese ist um so grösser, je grösser der Abstand der Thonspitzen; am grössten, wenn die eine die Achillessehne, die andere den oberen Rand des Präparates berührt. Die Kraft zwischen den letzteren Punkten ist in der Regel sogar grösser, als die, welche der unversehrte Gastroknemius in aufsteigender Richtung zwischen Haupt- und Achillessehne zeigte.

In querer Richtung findet man auch elektromotorische Unterschiede zwischen verschiedenen Punkten der beiden Ober- [585] flächen, aber sie sind sehr viel schwächer und gehorchen keinem bestimmmten Gesetz; doch haben auch sie auf beiden Seiten des Präparates einerlei Sinn.

Man kann diesen Versuchen eine besonders zierliche Gestalt geben, indem man aus dem auf die beschriebene Art zugerichteten Sehnenspiegel Bänder schneidet. An den beiden Enden eines nur wenige Millimeter breiten Bandes, welches, der mittleren Gegend des Spiegels entnommen, dessen volle Länge besitzt, findet man dieselben Spannungsunterschiede vor, wie zwischen Achillessehne und oberem Rande des Präparates, d. h. in der Regel grössere, als am unversehrten Gastroknemius. Jeder tiefer gelegene Punkt des Bandes verhält sich positiv gegen jeden höher gelegenen, mit anderen Worten, das Band wirkt scheinbar säulenartig wie ein Nerv im Elektrotonus, oder ein elektrisches Organ im Augenblick des Schlages, oder ein innerlich polarisirter feuchter poröser Halb-

---

[1] S. oben S. 83.

leiter.[1] Ein quer aus dem Spiegel geschnittenes Band giebt nur schwache und unregelmässige Wirkungen.

Alle diese Versuche gelingen auch mit dem Sehnenspiegel des Triceps femoris, der dem Achillesspiegel entspricht.[2]

Sie erklären sich übrigens leicht folgendermaassen. Durch das Abtragen der Muskelbündel an der inneren Fläche des Achillesspiegels hat man dort einen schrägen künstlichen Querschnitt von (im Allgemeinen) gleicher Neigung mit dem unter der sehnigen Ausbreitung befindlichen schrägen natürlichen Querschnitt erzeugt. Wie die Grenzschicht der elektromotorischen Molekeln am schrägen natürlichen Querschnitt, abgesehen von der parelektronomischen Schicht, aufsteigend wirkt, so muss die entsprechende Schicht am schrägen künstlichen Querschnitt absteigend wirken.

In dem aus dem Präparat der Länge nach geschnittenen Bande hat man also gleichsam einen, in der Faserrichtung gemessen, ausserordentlich kurzen Muskelrhombus vor sich, dessen einer schräger Querschnitt natürlich, der andere künstlich ist; und wenn man nur die in der Ebene des Bandes thätigen Stromcomponenten berücksichtigt, ist das Band zwei, mit feuchten [586] Hüllen umgebenen, und verkehrt auf einander gelegten Säulen vergleichbar. Die Wirkung in einem den Säulen angelegten Bogen würde Null sein, wenn die Säulen von gleicher Kraft wären. Wegen der parelektronomischen Schicht am aufsteigend wirksamen schrägen natürlichen Querschnitt hat aber der absteigend wirksame schräge künstliche Querschnitt die Oberhand. Die absteigende Stromkraft, die sich in dem Präparate kundgiebt, ist der Unterschied dieser beiden Wirkungen, oder vielmehr, sie ist die in der Ebene des Bandes thätige Componente der Kraft der parelektronomischen Schicht, unter der Voraussetzung, dass die beiden Neigungsstromkräfte, die natürliche unter dem Achillesspiegel ohne die der parelektronomischen Schicht, und die künstliche an der Innenfläche des Präparates, einander gleich seien.

Der Beweis dafür liegt darin, dass jene Kraft um so kleiner ausfällt, je weniger parelektronomisch der Achillesspiegel. Dies lässt sich nicht wohl so darthun, dass man den Versuch folgweise mit Muskeln auf verschiedenen Stufen der Parelektronomie anstellt, weil allerlei Zufälligkeiten bei der Zurichtung die Wirksamkeit der Präparate gleichfalls beeinflussen. Der Beweis lässt sich aber in der Art führen, dass man das

[1] S. oben Bd. I. S. 16; — S. 29 ff.

[2] [Ich gab ihm seitdem den Namen des „Patellaspiegels“. S. oben. S. 46. Anm. 2.]

Präparat mit seiner künstlichen Fläche auf das Uhrglas breitet, dem Achillesspiegel die Thonspitzen anlegt, den absteigenden Spannungsunterschied der berührten Punkte compensirt, und nun zwischen den Spitzen die parelektronomische Schicht mit Kreosot zerstört. Der Erfolg ist stets eine sehr grosse Schwächung der absteigenden Stromkraft, nicht selten zugleich eine Umkehr. Im letzteren Falle hat der chemisch dargestellte schräge künstliche Querschnitt unter dem Achillesspiegel die Oberhand gewonnen über den mechanisch dargestellten an der Innenseite des Präparates.

Dafür dass die absteigende Kraft des Präparates die aufsteigende zwischen Haupt- und Achillessehne des unverletzten Muskels nicht selten übertrifft, giebt es zwei Gründe. Abermals unter der Voraussetzung der Gleichheit der beiden Neigungsstromkräfte, der natürlichen unter dem Achillesspiegel $+k$, und der künstlichen an der Innenfläche des Präparates $-k$, muss erstens jener Erfolg eintreten, sobald die Kraft $-p$ [587] der parelektronomischen Schicht die halbe Grösse jener beiden Kräfte übersteigt. Denn die aufsteigende Kraft am unversehrten Muskel war $k-p$, die absteigende am Präparat ist $k-p-k = -p$; man hat aber $p > k-p$ für $p > \frac{k}{2}$. Der zweite Grund für die elektromotorische Ueberlegenheit des Präparates über den ganzen Muskel fusst auf der Einsicht, dass im Gastroknemius, auch ohne daran gelegten Bogen, stets die vom Achillesspiegel, gleichsam als plattgedrückter nicht isolirter Säule, ausgehende Strömung kreist.[1] Eine nothwendige Folge davon ist, dass die Masse des Muskels für den von jener Strömung in einen angelegten Bogen übertretenden Zweig Nebenschliessung bildet; und wiederum hiervon, dass durch Abtragen der Muskelmasse der Spannungsunterschied der Enden des Bogens wächst.

Mit dem beschriebenen Präparate nun lässt sich, unabhängig von jeder merklichen Dehnung und Abspannung, völlig derselbe Versuch über den Einfluss der Runzelung und Glättung des Achillesspiegels anstellen, wie vorher mit dem ganzen Muskel. Man breitet dasselbe, oder noch

---

[1] An der Oberfläche des Muskels ergiesst sich diese Strömung von dem oberen Rande des Achillesspiegels aufwärts nach dem Muskelkopfe, um darüber fort längs der Tibialfläche nach der Achillessehne hinab zu fliessen. Der scheinbar im Muskel absteigende Strom, den man häufig am Längsschnitt der Rückenfläche findet (s. Bogen 11 in Fig. 2 auf Taf. I, und dazu oben S. 92. 131) ist sichtlich ein Zweig dieser Strömung, und die Vermuthung unnütz, welche ich zu dessen Erklärung S. 131 aufstellte, dass es der in Folge geringerer Parelektronomie der Scheidewand hervortretende Neigungsstrom von dem als stumpfer Rhombusecke aufgefassten oberen Rand des Achillesspiegels zu der als spitze Ecke gedachten Hauptsehne sei.

besser ein der Länge nach daraus geschnittenes Band auf das Uhrglas, legt ihm die Thonspitzen an, compensirt, und nähert die Spitzen einander, welche leicht die von ihnen berührten Punkte des Bandes mitnehmen, und so das Band in quere Falten legen. In dem Maasse wie dies geschieht, sieht man die Stromkraft des Bandes schwinden, [588] aber sogleich wiederkehren, wenn durch Auseinanderrücken der Spitzen das Band wieder entfaltet wird. Man kann es dahin bringen, dass das dicht gefaltete Präparat nur noch den zwanzigsten Theil der Stromkraft zeigt, die es ausgestreckt zwischen seinen Enden liefert. Z. B. ausgestreckt 403 $^{cgr}$; gefaltet, 20; wieder ausgestreckt, 316; u. s. w.

Kaum bemerkt zu werden braucht, dass bei Faltung des Präparates der Länge nach die Kraft nicht merklich verändert wird.

### §. VI. Versuche an regelmässigen Muskeln ergeben, dass beim Dehnen, neben dem auf Glättung des Achillesspiegels beruhenden Maximum der Muskelstromkraft, in der That noch ein anderes Maximum vorkommt.

Wiederholt man die Dehnungsversuche mit Gastroknemien auf verschiedenen Stufen der Parelektronomie, so zeigt sich, dass die scheinbare Zunahme der Kraft beim Dehnen, die entsprechende Abnahme beim Abspannen des Muskels gleichen Schritt halten mit der Entwickelung des Stromes, oder umgekehrt sich um so weniger ausprägen, je parelektronomischer der Muskel. Ist der Muskel so parelektronomisch, dass sein Strom Null ist, so sind auch diese Wirkungen gleich Null; man kann sie aber sogleich im grössten Maassstabe hervortreten lassen, indem man den Achillesspiegel einem der bekannten Einflüsse unterwirft, wodurch die parelektronomische Schicht zerstört wird.

Dies stimmt, wie man sogleich bemerkt, sehr wohl mit der von Hrn. Meissner behaupteten Abhängigkeit der Lage des Maximums der Kraft, bezogen auf die Länge, vom allgemeinen Körperzustande der Frösche. Hr. Meissner hat leider in seiner Arbeit die Parelektronomie ausser Acht gelassen, die doch bei Versuchen am Gastroknemius von so augenfälliger Bedeutung ist. Wir können daher nur vermuthen, allein es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die lange gefangenen, matten Frösche, von deren Gastroknemien Hr. Meissner bei der geringsten Dehnung negative Ausschläge erhielt, stark parelektronomisch waren, während die kräftigen, frisch gefangenen Thiere, bei denen sich scheinbar ein Maximum der Kraft in Bezug [589] auf die Länge zeigte, auf niedrigeren Stufen der Parelektronomie verharrten, daher die Verstärkung

des Stromes durch das Glätten des Achillesspiegels seine Schwächung durch das Dehnen anfangs überwog. Hr. Meissner selber sagt: „Es „schien so, als ob diejenigen Muskeln durch Compression zu der relativ „grössten Abnahme des ruhenden Muskelstroms gebracht werden kön„nen, welche das Maximum des Stromes erst bei starker Ausdehnung „zeigen.“[1]

Hr. Meissner hielt sich für vollkommen berechtigt, „davon abzu„stehen, Versuche in der Weise, wie ich sie ausführte, zu wiederholen.“[2] Minder zuversichtlich, habe ich meinerseits nicht versäumt, die Dehnungsversuche auch noch mit seiner Art der Ableitung, trotz ihrer Mängel, zu wiederholen. Abgesehen von der viel geringeren Stärke der Wirkungen, welche theils von dem vergrösserten Widerstande, theils daher rührt, dass nur ein Theil der Länge des Achillesspiegels zur Wirkung kommt (s. oben S. 303), zeigte sich dabei nichts Neues.

Nach alledem schien gewiss der Schluss gerechtfertigt, dass Hr. Meissner, als er dem Dehnen der Muskeln neben der schon früher von mir angegebenen negativen Wirkung auch noch eine positive Wirkung auf die Stromkraft zuschrieb, durch die ihrem Wesen nach von ihm nicht erkannte Nebenwirkung des Glättens des Achillesspiegels getäuscht worden sei. Hr. Meissner hat zwar, ausser am Froschgastroknemius, noch an Säugethiermuskeln experimentirt (s. oben S. 303), unter denen er einen Gastroknemius und den Biceps brachii namhaft macht, und dabei Aehnliches wahrgenommen, wie an den Froschgastroknemien. Am Biceps sah er indess keine positive Wirkung, die Säugethier-Gastroknemien aber haben Sehnenspiegel, die unstreitig derselben elektromotorischen Wirkung beim Glätten fähig sind, wie der Achillesspiegel des Froschgastroknemius; und von den unbenannten Katzenmuskeln, die Hrn. Meissner auch bei stärkster Dehnung positive Schwankung gaben,[3] stand mir frei an-
[590] zunehmen, dass auch sie Sehnenspiegel besassen, von deren Glättung diese positive Wirkung herrührte.

Inzwischen blieb mir doch gerade der Umstand räthselhaft, dass Hr. Meissner hier, und gelegentlich an Froschgastroknemien, positive Wirkung selbst bei stärkster Dehnung gefunden haben wollte, da doch die positive Wirkung durch das Glätten eines Sehnenspiegels nicht wachsen kann, nachdem die Falten verstrichen sind. Mir selber zwar war jener Fall nie begegnet; ich beschloss indess, die Versuche noch so zu wiederholen, dass jene Nebenwirkung möglichst vermieden würde, näm-

[1] Zusatz zur „Vorläufigen Mittheilung“. A. a. O. S. 352.
[2] Ueber das elektrische Verhalten u. s. w. A. a. O. S. 40.
[3] Zusatz u. s. w. A. a. O. S. 352.

lich an den sogenannten regelmässigen Muskeln. Freilich haben auch diese keine senkrechten natürlichen Querschnitte;[1] vielmehr wird man sich an die Vorstellung gewöhnen müssen, dass die Ströme vom Längsschnitt zum sehnigen Ende eines jeden Muskels zum Theil Neigungsströme sind. Doch reicht bei der Kürze der Sehnenspiegel regelmässiger Muskeln die kleinste Dehnung aus, um deren Falten zu glätten, daher zu hoffen war, es würde sich daran die Wirkung des Dehnens auf die Muskelstromkraft rein ausprägen.

Ich nahm zu den Versuchen die Gruppe der noch in ihrem natürlichen Zusammenhange befindlichen Mm. gracilis und semimembranosus. Die Muskeln waren so zugerichtet, dass ihnen am oberen Ende ein Stück Becken, am unteren ein Stück Tibia blieb. Mittels dieser Knochenstücke wurden sie in den Schlitzen der Elfenbeinplatten befestigt.[2] Die Ableitung geschah einerseits von dem einen Knochenstück durch das eine Thonschild, andererseits vom Aequator durch einen mit verdünnter Kochsalzlösung getränkten Faden zum anderen Thonschilde. Ausser der Schwäche der Wirkungen und der Nothwendigkeit der feuchten Kammer brachte dies hier keinen Nachtheil, da eine geringe Verschiebung des Ableitungspunktes am Aequator fast wirkungslos bleibt.[3]

Ich erwartete, dass nun stets das Dehnen eine rein negative Wirkung haben würde, und oft war dies in der That der [591] Fall, da Runzelung und Glättung der Muskeloberfläche hier keinen deutlichen Einfluss übte, wodurch beiläufig unsere Erklärung ihrer Wirkung am Gastroknemius bestätigt wird. Allein nicht selten erfolgte auch beim Dehnen eine positive Wirkung; manchmal wuchs sie bis zur stärksten Dehnung, andere Male ging sie bei gesteigerter Dehnung in das Gegentheil über, so dass sich, wie am Gastroknemius, wenn die Wirkung des Glättens ihren Gipfel erreicht hat, hier aber aus anderem Grunde, ein Maximum der Kraft einstellte.[4] In der Regel waren die Wirkungen sehr viel schwächer als am Gastroknemius; die positive Wirkung beim Dehnen insbesondere war zuweilen so schwach, dass trotz ihr die Stromstärke

---

[1] [Vergl. oben S. 55. 56].

[2] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 86; — oben Bd. I. S. 118. 119.

[3] S. oben S. 195.

[4] Da der Semimembranosus in einem grossen Theile seiner Länge von unten nach oben neue Fleischbündel ansetzt (s. oben S. 161) könnte man, obschon er zwischen sehnigen Enden absteigend wirkt (ebenda S. 159), bei ihm einen schwachen aufsteigenden Neigungsstrom vermuthen, und die positive Wirkung beim Dehnen auch hier durch das Glätten der Oberfläche erklären wollen. Dies widerlegt sich dadurch, dass jene Wirkung auch bei Ableitung vom oberen Knochenstück eintritt.

wegen des doch kaum vermehrten Widerstandes sank. Ueber die Ursache des verschiedenen Verhaltens der einzelnen Muskeln erfuhr ich nichts; ein Bezug auf die Parelektronomie trat nicht deutlich hervor.

Die Dinge sind also, wie man nun sieht, hier nicht wenig verwickelt. Auch in Muskeln ohne Sehnenspiegel übt die Dehnung neben der negativen Wirkung eine positive Wirkung aus. Im Beginn des Dehnens hat bald diese, bald jene die Oberhand. Ist es die negative, so bleibt sie die stärkere; ist es die positive, so siegt meist bei wachsender Dehnung früher oder später die negative Wirkung, die also schneller oder länger mit der Dehnung wächst. In Muskeln mit Sehnenspiegel tritt hierzu noch die positive Wirkung des Glättens des Spiegels, welche Hr. Meissner, was sehr verzeihlich ist, nicht von der positiven unter jenen beiden unterschieden hat. Sie übertrifft diese im Allgemeinen sehr, steht im umgekehrten Verhältniss zur Parelektronomie und wächst, wie bemerkt, nicht über den Punkt hinaus, wo die Falten im Achillesspiegel verstrichen sind.

[592] So sicher und klar die oben entwickelte Theorie der letzteren Wirkung ist, so wenig Befriedigendes lässt sich zur Zeit über die Ursache der anderen positiven Wirkung beim Dehnen sagen, und auch die negative Wirkung erscheint eher dunkler, als da ich sie zuerst beschrieb. Doch will ich den Leser mit der Erörterung der hier vorhandenen Möglichkeiten und der zuletzt gegen alle obwaltenden Bedenken nicht ermüden.

## §. VII. Merkwürdiger Erfolg in elektromotorischer Beziehung, der das Zerreissen des Muskels begleitet.

Bei den neuen Dehnungsversuchen am Gastroknemius bot sich mir noch eine sehr auffallende und beständige Erscheinung dar, welche jedenfalls lehrreich für die Theorie des Gastroknemiusstromes ist. Erreicht nämlich die Spannung einen gewissen, ziemlich hohen Grad, so sieht man die negative Wirkung des Dehnens auf die Stromkraft sich plötzlich ausserordentlich steigern, der Strom zwischen Haupt- und Achillessehne kehrt sich um und bleibt verkehrt, auch nachdem die Spannung vermindert, ja der Muskel aus der Vorrichtung genommen worden ist. Die Kraft des verkehrten Stromes ist jedoch stets nur eine verhältnissmässig geringe. Auch mittels der Thonspitzen findet man zwischen verschieden hohen Punkten der Muskeloberfläche oder des Achillesspiegels statt aufsteigender Wirkungen absteigende vor. Aber die queren Ströme vom Umfange des Achillesspiegels zu dessen Mitte, welche die schwachen

Ströme des darunter gelegenen natürlichen Querschnittes sind,[1] haben ihre Richtung bewahrt. Benetzen des Achillesspiegels mit entwickelnden Flüssigkeiten hat denselben Erfolg wie sonst, d. h. es entsteht dadurch eine aufsteigende Kraft, wodurch der verkehrte Strom vermindert, aufgehoben, oder umgekehrt wird. Stellt man mit dem verkehrt wirksamen Gastroknemius die oben geschilderten Versuche über den Einfluss der Runzelung und Glättung des Achillesspiegels an, so beobachtet man den umgekehrten Erfolg wie am aufsteigend wirksamen Muskel, d. h. Runzelung des Spiegels bedingt Zunahme, Glättung Abnahme des verkehrten Stromes.

[593] Aus diesen Thatsachen ergiebt sich zunächst, dass die verkehrte Wirkung nicht vom Achillesspiegel herrührt, vielmehr dessen elektromotorische Thätigkeit ganz die gewöhnliche ist. Der verkehrte Strom wird aber leicht verständlich durch das was sich ereignet, wenn man die Dehnung des Muskels so weit treibt, dass der Muskel zerreisst. Fast stets nämlich geschieht dies so, dass die mit der Haupt- und Nebensehne zusammenhängende Scheidewand aus dem Muskel herausgerissen wird, an welche sich die oberen Enden fast sämmtlicher Bündel heften.[2] Nicht selten bleibt dabei das Perimysium der Tibialfläche unversehrt, so dass der Muskel äusserlich keine andere Verletzung zeigt, als ein kleines Loch an der Stelle der Hauptsehne; hier ist die Scheidewand herausgeschlüpft. Nachdem so die Scheidewand aus dem Muskel entfernt worden, wirkt er gleichfalls, und mit ansehnlicher Kraft, absteigend. Der Grund davon ist klar; der Muskel ist in denselben Zustand versetzt, den ich früher dadurch hervorrief, dass ich ihn mittels eines längs der Scheidewand geführten Messers von der Tibialfläche her aufschlitzte.[3] Die beständige hohe Parelektronomie des Kniespiegels ist aufgehoben, und an die Stelle der daran gränzenden schrägen natürlichen Querschnitte sind ebenso schräge künstliche Querschnitte gesetzt. Diese senden durch den Muskel eine Strömung von im Allgemeinen umgekehrter Richtung wie die, welche vom Achillesspiegel ausgeht, und daher, bei der grösseren Kraft des künstlichen Neigungsstromes, der absteigende Strom zwischen ungleich hohen Punkten der Muskeloberfläche. Wird die Scheidewand nicht ausgerissen, sondern bleibt die Dehnung auf einer niedrigeren Stufe stehen, so tritt doch, nur minder stark, dieselbe Wirkung ein, da die Bündel zunächst der Scheidewand, schon ehe sie reissen, eine tödtliche Dehnung erleiden, so dass virtuell ein schräger künstlicher Querschnitt besteht.

---

1 S. oben S. 85.
2 S. oben S. 70.
3 S. oben S. 135.

Untersucht man mit den Thonspitzen den Kniespiegel an der ausgerissenen Scheidewand, so findet man darin einen [594] schwachen aufsteigenden Strom. Dies ist sichtlich der Neigungsstrom, den die Stoppeln der beiderseits von der Scheidewand abgerissenen Muskelbündel entwickeln. In dem Falle, wo man die Dehnung nicht bis zum Ausreissen der Scheidewand treibt, muss sich dieser aufsteigende Strom von dem absteigenden abziehen, der von den Enden jener Bündel ausgeht. Allein es lässt sich denken, dass letzterer rasch die Oberhand erhält.[1]

An der Gruppe des Semimembranosus und Gracilis reisst bei übermässiger Dehnung auch meist das Fleisch von der einen Sehne ab. Wenn man dann gerade den Strom von dem entsprechenden Knochenstück ableitet, beobachtet man die dauernde Erhöhung der Negativität des sehnigen Endes, welche die hier durch Zerreissung bewirkte Umwandlung des natürlichen Querschnittes in künstlichen mit sich bringt.

## §. VIII. Erklärung von Hrn. Meissner's angeblicher 'negativer Schwankung des Muskelstromes' bei der Zusammendrückung.

Wenden wir uns jetzt zur Zusammendrückung des Muskels, so wird sich nach dem Obigem Hr. Meissner wohl schon selber gesagt haben, dass dieser Theil seiner Lehre nicht mehr haltbar ist, und dass seine Beobachtungen anders zu deuten sind. Hr. Meissner glaubte den Muskel der Länge nach zusammenzudrücken; wir sahen aber, wie er selber sich der Bemerkung nicht verschliessen konnte, dass er im Grunde nichts that, als ihn knicken. Eine bessere Art, den Achillesspiegel in Falten zu legen, wird sich nicht ersinnen lassen, und es ist kein Wunder, wenn Hr. Meissner dabei regelmässig Abnahme des Stromes beobachtete.

[595] Hr. Meissner sah in dieser Regelmässigkeit einen Grund, „mit den Leistungen seines Apparates ganz zufrieden zu sein". (S. oben S. 301). Dies Urtheil beruht jedoch sichtlich auf dem Missverstehen eines sonst richtigen Forschungsgrundsatzes. Wenn von einem Apparate bekannt ist, dass er zwar fehlerhafte, aber beständige Ergeb-

---

[1] In der Abhandlung „Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w." (s. oben S. 135) ist der Fall erwähnt, dass am Kniespiegel des der Länge nach zerrissenen Gastroknemius ein aufsteigender, am Achillesspiegel ein absteigender Strom herrschte, und es wurde dabei eine durch die Dehnung verursachte Störung vermuthet. Durch die obigen Erfahrungen gewinnt diese Vermuthung an Wahrscheinlichkeit; eine bestimmte Gestalt lässt sich ihr aber auch jetzt noch nicht geben.

nisse liefert, und deren Fehler sind gleichfalls bekannt und beständig, kann man allerdings damit zufrieden sein. Dies gilt aber da nicht, wo das Ergebniss noch gar nicht zergliedert ist, so dass es sich als rohe Summe bekannter und unbekannter Wirkungen darstellt, worunter man die Wirkung, auf die es ankommt, nur vermuthet. Alsdann bedeutet die Regelmässigkeit des Ergebnisses eben nichts, als dass jene Summe die nämliche bleibt, woraus sich nicht einmal auf die Beständigkeit ihrer Glieder, geschweige etwas auf deren Bedeutung, schliessen lässt.

Es ist schwer zu verstehen, wie Hr. Meissner sich einreden konnte, dass wenn er den Muskel zwischen zwei parallelen Platten quetschte, woran seine Enden befestigt sind, er ihn so zusammendrücke, wie der Muskel selber dies bei der Verkürzung thut. In meinem Compressorium versuchte ich doch wenigstens, indem ich den Muskel in einem nachgiebigen Rohre der Länge nach drückte, ihn durch elastische Unterstützung von der Seite her am Knicken zu verhindern, und ihn so zu zwingen, sich zu verdicken, um bei der Verkürzung sein Volum zu behaupten. Ich bin aber jetzt soweit davon entfernt, zu glauben, dass es mir gelungen sei, den Muskel so zusammenzudrücken, wie er selber es bei der Zusammenziehung thut, dass ich vielmehr von der Unmöglichkeit überzeugt bin, dass dies je gelinge.

Man denke sich den Muskel während des Tetanus, also in der Gestalt, die wir ihm ertheilen möchten, mit einer binnen wenigen Secunden erstarrenden, übrigens harmlosen Flüssigkeit umgossen. Hört nach Erstarrung der Masse der Tetanus auf, so wird der Muskel nothwendig in der Gestalt verharren, die er sich selber durch die Zusammenziehung aufzwang. Aber werden wohl die einzelnen Bündel die ihnen im Tetanus zukommende Gestalt und Lage behalten, d. h. kürzer und dicker und möglichst geradlinig zwischen ihren Endpunkten ausgestreckt bleiben? Gewiss nicht. Sondern wegen der elastischen Kräfte [596] des Sarkolemms werden sie, sobald die contractile Substanz aufhört thätig zu sein, lang und dünn werden, und sich innerhalb des vom Muskel ausgefüllten Hohlraumes, so gut es geht, im Zickzack lagern, ganz wie sie dies auf dem Objectträger thun, wo die Adhäsion sie verhindert, sich gerade zu strecken.

Man denke sich nun weiter, man hätte eine Hülle, die zuerst den ruhenden Muskel genau umschlösse, und dann mit angemessener Kraft und Schnelle die Gestalt ihres Hohlraumes gerade so veränderte, wie der Muskel seine äussere Gestalt bei der Zusammenziehung. Gewiss wäre dies die vollkommenste denkbare Anstalt zur Erreichung des Zieles, das Hrn. Meissner, und mir vor ihm, vorschwebte. Man sieht aber jetzt klar, dass auch damit nichts gethan wäre. Der Muskel würde auch dadurch nicht so

zusammengedrückt, wie er dies selber im Tetanus thut, sondern während man dem Muskel äusserlich die Gestalt des tetanischen Muskels, und auch dem Perimysium dieselbe Spannung wie im Tetanus ertheilte, würden die einzelnen Bündel, auf die es doch hier allein ankommen kann, zickzackförmig geknickt sein.

Diese Ueberlegungen waren es denn auch, welche mich abhielten, neue Versuche der Art anzustellen.

## §. IX. Von dem Einfluss der Drillung auf die elektromotorische Kraft der Muskeln.

Ausser der Dehnung giebt es noch eine Gestaltveränderung des Muskels, die sich mechanisch mit aller Sicherheit, und ohne Gefahr einer ungehörigen Einwirkung auf die parelektronomische Schicht, vornehmen lässt: die Torsion oder Drillung. Der beweglichen Elfenbeinplatte der Dehnungsvorrichtung (s. oben S. 305. 306) mit ihrem Schlitze gegenüber stellte ich einen in einer Hülse mit starker Reibung drehbaren Holzring auf, von dessen Umfang nach seiner Mitte eine, mit einem Schlitze zur Aufnahme des einen Muskelendes versehene Elfenbeinplatte vorsprang. Die wagerechte Drehungsaxe des Ringes ging durch beide Schlitze. Der Gastroknemius wurde mit seinem oberen Knochenstück in den einen, mit dem Sesamknorpel der Achillessehne in den anderen Schlitz gehängt, und durch Entfernung [597] der beweglichen Elfenbeinplatte leicht gespannt. Die Thonschilder der gewöhnlichen Zuleitungsgefässe wurden einerseits dem oberen Knochenstück, andererseits dem Sesamknorpel angelegt. Nachdem die elektromotorische Kraft des Muskels gemessen worden, drehte ich den Ring, und drillte so den Muskel. Sehr regelmässig ergab sich dabei eine Abnahme, beim Entdrillen eine Wiederzunahme der Kraft. Eine Zunahme der Kraft im Anfange, nebst einem Maximum in Bezug auf den Drehungswinkel, wurde hier nicht beobachtet, wie denn auch keine Glättung und Runzelung des Achillesspiegels die Drillung und Entdrillung zu begleiten schien. Auf den Betrag, um den der Muskel zu drillen ist, um deutliche Wirkung zu erzielen, ist begreiflich die ursprüngliche Längenspannung von Einfluss. Drei bis höchstens vier Umgänge gaben meist die geringste erreichbare Kraft; dann trat Zerreissung ein, deren Verlauf und Wirkung auf die Stromkraft ich in diesem Falle noch nicht näher untersucht habe.

---

XXIII.

# Widerlegung der von Hrn. Dr. Ludimar Hermann kürzlich veröffentlichten Theorie der elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln und Nerven.

(Gelesen in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 14. October 1867.)[1]

## §. I. Einleitung.

Als Fortsetzung seiner schätzbaren 'Untersuchungen über den Stoffwechsel der Muskeln, ausgehend vom Gaswechsel derselben'[2] hat Hr. Dr. Ludimar Hermann kürzlich 'Weitere Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven'[3] herausgegeben, welche nichts Geringeres beanspruchen, als, unter Beseitigung der von mir aufgestellten Hypothese elektromotorischer Molekeln, [598] eine physikalische Theorie der elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln und Nerven zu geben, ja bis zu einer solchen Theorie der Nerventhätigkeit überhaupt und der Muskelzusammenziehung den Flug wagen. Der Strom der Muskeln und Nerven ist Hrn. Hermann nur noch eine an den Vorgang des Absterbens geknüpfte Leichenerscheinung; der wesentliche Inhalt der Muskelbündel und Nervenröhren nur noch eine in mehr oder minder raschem Zerfall begriffene Substanz, der aber in seiner Vorstellung vom Tetanus und dem Zitterfisch-Schlage bis zur Drüsenabsonderung und der Wahrnehmung der Farben nach der Young-Helmholtz'schen Theorie keine Aufgabe zu schwer wird.

Ich halte Hrn. Hermann's Unternehmen, was die Erklärung des Muskel- und Nervenstromes betrifft, für misslungen, und es scheint mir sehr leicht, die bedenklichen Punkte seiner Lehre aufzufinden. Da diese aber einem so scharfsinnigen Forscher, wie Hrn. Hermann, entgehen

[1] Monatsberichte der Akademie. 1867. S. 597.

[2] Berlin 1867. Bei A. Hirschwald. 8. 128 S.

[3] Berlin 1867. Bei A. Hirschwald. 8. 78 S.

konnten, und da die nahe wissenschaftliche Beziehung, worin dieser Gelehrte zu mir steht, die Meinung erwecken möchte, ich billige seine Ansichten und seine Art zu schliessen, wenn ich dazu schwiege: so halte ich in diesem Falle für gerathen, meine Einwendungen sobald wie möglich hören zu lassen.

## §. II. Hrn. Hermann's Hypothese über die chemischen Vorgänge in den Muskeln.

Ueber die chemischen Vorgänge in den Muskeln hat sich Hr. Hermann folgende Vorstellung gebildet. Im Inhalt der Muskelbündel ist eine Substanz von höchst verwickelter Zusammensetzung gelöst, die sich fortwährend, auch in der Ruhe, von selber in eine Reihe von Producten spaltet, unter denen sich Kohlensäure, Fleischmilchsäure und gallertiges Myosin befinden. Diese hypothetische Substanz nennt Hr. Hermann das Inogen.[1] In dem von Blut durchflossenen Muskel stellt sich das Inogen in dem Maasse, wie es zerfällt, wieder her, indem zum Myosin, unter Mitwirkung des Sauer- [599] stoffes im Blute, eine unbekannte, kohlenstoffhaltige, stickstofffreie Materie tritt; dieser Vorgang heisst die oxydative Synthese oder Restitution. Die Kohlensäure verlässt den Muskel; ob auch die Milchsäure, ist ungewiss. Ist der Kreislauf aufgehoben, so kann der Wiederaufbau des Inogens nicht stattfinden, das sich anhäufende gallertige Myosin zieht sich schliesslich zum festen Gerinnsel zusammen, der Muskel wird todtenstarr. Der chemische Vorgang bei der Zusammenziehung ist im Wesentlichen nichts als Steigerung des in der Ruhe stattfindenden; die Muskelreize beschleunigen nur auf Augenblicke den Spaltungsvorgang; Zusammenziehung und Todtenstarre sind einerlei. Die Spaltung des Inogens zum Theil in solche Verbindungen, worin, wie in der Kohlensäure, stärkere Verwandtschaften gesättigt sind, ist der Quell der im Muskel frei werdenden Kräfte. Daher der ausgeschnittene entblutete Muskel, für den es nach Hrn. Hermann's Versuchen keinen physiologischen Sauerstoffverkehr mehr giebt, doch noch arbeitsfähig ist.

Alles dies ist bisher reine Hypothese. Man kann sich die Dinge so vorstellen, d. h. die den Muskel betreffenden chemisch-physiologischen Thatsachen, zu denen Hr. Hermann so wesentlich beigetragen hat, lassen sich dergestalt unter Einen Gesichtspunkt bringen, ohne dass sich augenblicklich ein schlagender Einwand dagegen ergäbe. Inzwischen morgen schon kann dies anders sein; die Dinge können sich auch ganz anders

[1] Lud. Hermann, Grundriss der Physiologie des Menschen. 2. Aufl. Berlin 1867. S. 226; — [5. Aufl. 1874. S. 231.]

verhalten, und die Geschichte der Wissenschaft erzählt von hundert scheinbar eben so gelungenen und allseitig stimmenden Aperçu's, die sich schliesslich doch als Täuschung erwiesen. Doch ist dies nicht das Gebiet, wo ich Hrn. Hermann entgegentreten will. Ich mache diese Bemerkungen nur, um die unsichere Natur der Grundlage zu bezeichnen, auf der er jetzt folgendermaassen weiter baut.

## §. III. Hrn. Hermann's Hypothese über den Ursprung des Muskelstromes.

Wird ein Muskel quer durchschnitten, so stirbt bekanntlich die Schicht dem Schnitte zunächst sogleich ab, und der örtliche Tod schreitet dem Muskel entlang allmählich fort, so dass der Muskel in seiner Gesammtheit früher stirbt als unversehrt.

[600] Hr. Hermann fasst diesen Vorgang so auf, als werde durch das Anlegen des Querschnittes der im unverletzten Muskel äusserst langsam verlaufende Spaltungsvorgang örtlich sehr beschleunigt. Die äusserste Schicht erstarrt sogleich im Tetanus; durch den Reiz der Luft und durch eine fermentähnliche, ansteckende Wirkung der erstarrten Schicht und der darin freigewordenen Säure pflanzt sich die Spaltung in's Innere fort. Fasst man eine bestimmte Schicht in's Auge, so wird darin bis zu einer gewissen Zeit die Spaltungsgeschwindigkeit noch die gewöhnliche sein, dann wächst sie bis zu einem Grenzwerth, und sinkt schliesslich wieder von letzterem herab zu Null, wo dann die Schicht an spaltbarer Substanz erschöpft ist.

Hr. Hermann macht jetzt die weitere Hypothese, dass mit der Spaltung des Inogens Elektricitätsentwickelung verknüpft sei, wie mit anderen Gährungen Wärmebildung; und zwar nimmt er an, dass eine Schicht von grösserer Spaltungsgeschwindigkeit sich gegen eine Schicht von geringerer Spaltungsgeschwindigkeit um so stärker negativ[1] verhalte, je grösser der Unterschied der Spaltungsgeschwindigkeiten sei. Damit hält er im Allgemeinen den Muskelstrom für erklärt; denn da am Querschnitt eine Schicht von grösserer an Schichten von immer geringerer Spaltungsgeschwindigkeit grenze, so müsse sich der Querschnitt negativ verhalten gegen den Längsschnitt; und da unter dem Längsschnitt vom Querschnitt nach dem Aequator zu Schichten von immer kleinerer Spaltungsgeschwindigkeit einander folgen, so müsse sich auch ein dem Querschnitt näherer Längsschnittspunkt negativ verhalten gegen einen dem Aequator näheren.

[1] Negativ in dem Sinne, wie man sagt, Kupfer verhält sich negativ gegen Zink.

Dabei entsteht aber eine Schwierigkeit. Das Gesagte würde nämlich richtig sein nur im Augenblicke, wo die äusserste Schicht am Querschnitt selber die grösste, oder wenigstens noch sehr grosse Spaltungsgeschwindigkeit hätte. Rückt die Schicht von grösster Spaltungsgeschwindigkeit tiefer in den Muskel hinein, und überzieht sich der Querschnitt mit einer erstarrten Schicht von der Spaltungsgeschwindigkeit Null, so [601] hört der Strom zwischen Längs- und Querschnitt auf, weil die elektromotorischen Unterschiede zu beiden Seiten der Schicht von grösster Spaltungsgeschwindigkeit einander aufheben. Hr. HERMANN meint, es werde dadurch die Negativität des Querschnittes nur etwas vermindert werden.[1] Ich verstehe nicht, wie er zu diesem Schlusse gelangte; um aber der bezeichneten Schwierigkeit, die ihm irgendwie vorschwebte, zu entgehen, fügt er zu seiner Hypothese der Positivität einer sich schneller spaltenden Schicht gegen eine sich langsamer spaltende noch die neue Hypothese hinzu, dass diese Negativität nur insofern stattfinde, als erstere Schicht auf letztere fermentartig wirke. Warum aber die sich am schnellsten spaltende Schicht am Querschnitt nicht auch rückwärts beschleunigend auf die Spaltung der Schichten, die bereits das Maximum überschritten, also auch in dieser Richtung fermentartig und elektromotorisch wirke, erfährt man nicht. Auf eine nähere Bestimmung der Umstände, unter denen ein Theil des Muskels fermentartig auf einen anderen wirke, und sich demgemäss negativ gegen ihn verhalte, lässt sich Hr. HERMANN überhaupt nicht ein. Da von keiner besonderen Anordnung der Inogen-Molecüle im Inneren des Bündels die Rede ist, so nimmt er wohl zweifellos an, dass die fermentartige und elektromotorische Wirkung gelegentlich im Bündelinhalt nach jeder Richtung stattfinde. Man kommt aber nicht in's Klare darüber, ob er sich nicht auch zwischen zwei unversehrten Bündeln solche Wirkung möglich denkt (s. unten S. 330. 336. 338.).

Ueber das Gewagte derartiger Hypothesen brauche ich wohl kein Wort zu verlieren. Schon darum sind sie von der misslichsten Art, weil sie allein den Thatsachen entnommen sind, die sie erklären sollen. Hr. HERMANN führt, um sie zu rechtfertigen, keinen einzigen theoretischen Grund an, und in der ganzen bisherigen Elektricitätslehre haben sie nicht den Schatten einer Analogie für sich.

Diese hat indess Hr. HERMANN sich bemüht, ihnen selber zu schaffen. In einer Kette aus Thon, altem Kuhkäse, Milchzuckerlösung oder Milch, und Thon, erhielt er einen Strom von [602] der Ordnung

[1] A. a. O. S. 22. Anm.

des Muskelstromes in der Richtung, wie die Stoffe genannt sind, also wie die saure Gährung sich fortpflanzte. Die Kraft[1] blieb der Grösse und Richtung nach dieselbe, auch wenn der Zuckerlösung Säure oder Alkali zugesetzt wurde, zum Beweise, dass der Strom kein Säure-Alkali-Strom war. Allzu frischer oder in Kochsalzlösung von beliebiger Concentration getauchter Käse lieferte keinen Strom. Oft fehlte der Strom anfangs, stellte sich aber ein, wenn die Lösung auf etwa 40° C. erwärmt wurde, und blieb dann nach dem Abkühlen bestehen. Hr. HERMANN leitet diesen Strom von dem Spaltungsvorgang her, den der Käse im Milchzucker-Molecül unter Säurung einleite, und sieht in diesem einen, doch noch sehr unsicheren Erfolge eine hinreichende Bestätigung seiner Ideen, obschon er gesteht, bei der seinem hypothetischen Fall am Muskel mindestens ebenso nahe verwandten alkoholischen Zuckergährung keine Spur von Strom wahrgenommen zu haben.[2] Andere Combinationen hat er nicht untersucht, da die Fermente sich meist nicht in eine zu Versuchen dieser Art geeignete Form bringen lassen. Die Zersetzung von Wasserstoffsuperoxyd durch geronnenen Faserstoff, wobei dies wohl der Fall ist, erwähnt er nicht, vielleicht weil ihm das Beispiel sonst nicht zu passen schien; es wird aber doch dabei, wenn auch keine Säure, wenigstens ein stark elektronegativer Körper frei. [Ich habe den Versuch angestellt, und mich überzeugt, dass auch hier kein nachweisbarer Strom entsteht (s. den Anhang)].[3]

Aber gleichviel ob Hrn. HERMANN's „bisher unbekannte Art von „Strömen bei einem mit Säurebildung verbundenen Spaltungsvorgange" wirklich bestehe, oder nicht: wir wollen jetzt zusehen, wie seine Hypothese im Uebrigen genügt, um die [603] elektromotorischen Erscheinungen des Muskels zu erklären. Nach seiner Vorstellung, um diese kürzer zu fassen, soll also eine absterbende Muskelschicht elektromotorisch wirken in dem Sinn, in welchem das Absterben fortschreitet. Wir sahen schon, wie damit der Strom zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt, und zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes stimmt.[4] Natürlich; die Hypothese ist, wie bemerkt, zur Erklärung

---

[1] Obschon Hr. HERMANN meist von der Stromstärke statt von der elektromotorischen Kraft spricht, so ergiebt sich doch aus dem Zusammenhange, dass er letztere meint. So S. 7. 8. 9. 11. 15. 19. 20. 23. 25. 26.

[2] Dadurch ist also BLAKE's Versuch widerlegt, der beim Gähren von Bierwürze einen Strom in der von Hrn. HERMANN geforderten Richtung beobachtet haben wollte. S. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 10.

[3] Das Eingeklammerte ist ein nachträglicher Zusatz [von 1867].

[4] Fälschlich stellt sich Hr. HERMANN noch vor, dass die Herleitung der Längsschnittsströme aus der Molecularhypothese gewisse Schwierigkeiten habe (a. a. O.

dieser Thatsachen erfunden; sie ist auf Bestellung gemacht, das Mindeste, was man von ihr verlangen kann, ist, dass sie passe. Starb der Muskel in seiner ganzen Masse ab, so sind überall darin die Spaltungsgeschwindigkeiten Null; der Strom ist demgemäss verschwunden. Im Verlaufe des Absterbens sind bereits im ganzen Muskel jene Geschwindigkeiten gesteigert, und zwar um so mehr, je näher die allgemeine Starre rückt; bei gleicher Maximalgeschwindigkeit am Querschnitt ist also der vorhandene Unterschied der Geschwindigkeiten überhaupt kleiner: daher, nach Hrn. Hermann, das allmähliche Sinken der Kraft des absterbenden Muskels.

Auch die grössere elektromotorische Kraft längerer Muskelstücke ergiebt sich aus Hrn. Hermann's Theorie, indem der mittlere Theil des längeren Muskels, als den schädlichen Einflüssen vom Querschnitt her minder ausgesetzt, eine geringere, der ursprünglichen nähere Spaltungsgeschwindigkeit behält. Hr. Hermann lässt dies unerwähnt, er erklärt aber auch nicht die elektromotorische Ueberlegenheit der dickeren über die dünneren Muskeln, die nicht so leicht nach seiner Theorie verständlich ist. Ueberhaupt ist Hrn. Hermann's Erörterung des Thatbestandes durchaus nicht so vollständig, wie es die Natur seines Vorhabens wohl erheischt hätte.

## [604] §. IV. Hrn. Hermann's Theorie der Neigungsströme wird widerlegt.

Demnächst fragt es sich, wie Hr. Hermann mit den von mir sogenannten Neigungsströmen fertig werde, die, obschon zuletzt entdeckt, durch die hohe, ihnen zu Grunde liegende Kraft, durch die Eigenthümlichkeit ihrer Anordnung an der Muskeloberfläche und durch die überraschende Einfachheit, womit die Molecularhypothese sie erklärt hat, unter den elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln eine der wichtigsten geworden sind.

„Legt man einen schrägen Querschnitt an,“ sagt Hr. Hermann, „oder zieht man einen senkrecht durchschnittenen Muskel derart schief, „dass ein schräger Querschnitt entsteht, so wird die an einem senkrech- „ten Querschnitt an allen Punkten gleiche Geschwindigkeit des Erstarrens „nunmehr ungleichmässig über den Querschnitt vertheilt. Man kann sich

S. 22). Diese Schwierigkeiten sind vollkommen beseitigt, und zwar unter seiner eigenen Beihülfe, indem er die von ihm sogenannte Oberflächenzehrung der Muskeln durch den Sauerstoff der Luft chemisch nachwies, während ich dies elektromotorisch that. S. oben S. 201. 227.

„nämlich . . . . den erstarrungsbeschleunigenden Einfluss des Querschnitts „nicht anders vorstellen, denn als herrührend von einem zerstörenden „Einfluss der Luft, oder von einem gleichen Einfluss der einmal . . . er- „starrten oberflächlichsten Schicht, welche gleichsam ansteckend auf die „Nachbarschaft wirkt. Wie dem auch sei, beide Einflüsse müssen sich „in der Nähe der scharfen Kanten des schrägen Querschnitts" (der spitzen Rhombusecke) „energischer geltend machen als in der Nähe der stumpfen. „Denn dieser Einfluss muss wachsen mit dem Verhältniss der schädlichen „Fläche zum Muskelinhalt, dies Verhältniss nimmt aber nach der scharfen „Kante hin zu."[1]

Dass die Muskelrhomben im Ganzen früher absterben, als gleich grosse von senkrechten Querschnitten begrenzte Muskelstücke, ist von mir selber beobachtet worden,[2] und Hr. Hermann hat sich mit Lakmuspapier davon überzeugt, dass die spitzen Rhombusecken den stumpfen im örtlichen Tode vorangehen.[3] Soweit ist die Grundlage von Hrn. Hermann's Theorie, seine übrigen Prämissen zugegeben, richtig. Aber [605] wie unwahrscheinlich ist die Deutung, die er von den Neigungsströmen durch Dehnung giebt. Sie verlangt, dass wenn beim Entfernen der Thonspitze vom Querschnitt der daran haftende kegelförmig hervorgezogene Querschnitt negativer erscheint,[4] die Spaltungsgeschwindigkeit mit dem Verhältniss der Oberfläche des Muskels zu seinem Inhalt für die gewöhnliche Wahrnehmung vollkommen gleichzeitig wachse. Angesichts des kleinen Absorptionscoëfficienten des Sauerstoffes, der nothwendigen Langsamkeit seines Eindringens bis zu den in Spaltung begriffenen Schichten, endlich der Vertheilung der schon vorhandenen Säure über eine grössere Fläche, gewiss eine starke Zumuthung. Schiebt man sodann die Spitze, ehe sie sich abgelöst hat, wieder vor, so dass der Querschnitt sich wieder ebnet, so nimmt in demselben Augenblicke die Kraft auch wieder ab, zieht man die Spitze zurück, so wächst ebenso augenblicklich die Kraft wieder, und so kann man dasselbe Spiel viele Male nach einander wiederholen. Nach Hrn. Hermann's Theorie ist dies nicht zu begreifen. Danach sollte die durch einmaliges Hervorziehen des Querschnittes vergrösserte Spaltungsgeschwindigkeit wenigstens eine Zeit lang fortbestehen, auch nachdem der Querschnitt wieder geebnet ist, um so mehr, als die während des kegelförmigen Hervorragens des Querschnittes absorbirte Luft und gebildete Säure ihre schädliche Wirkung jetzt auf eine

---

[1] A. a. O. S. 24.
[2] S. oben S. 103.
[3] A. a. O. S. 25. Fig. 3.
[4] S. oben S. 187. 195. 243.

kleinere Fläche concentriren. Dieselbe Bemerkung passt natürlich auf die durch Dehnung erzeugten Muskelrhomben, nur dass hier zwischen Dehnung und Prüfung nothwendig immer einige Secunden vergehen.

Sodann erklärt Hr. Hermann nicht, weshalb ein schräger Querschnitt in seiner Gesammtheit weniger negativ ist, als ein senkrechter;[1] weshalb, was damit zusammenhängt, die Kraft zwischen Mitte des Längsschnittes und spitzer Rhombusecke erhöht wird, wenn man die spitze Ecke durch einen kleinen [606] senkrechten Querschnitt abstumpft;[2] weshalb die Kraft der Neigungsströme bezogen auf den stumpfen Winkel zwischen Querschnitt und Faserrichtung ein Maximum zeigt,[3] und so versäumt er auch, aus seiner Lehre die Wirkung der von mir sogenannten Muskelrhomben zweiter Art herzuleiten.[4] Es kommt zwar auf dies Alles nicht viel an, da, wie wir gleich sehen werden, Hrn. Hermann's Theorie der Neigungsströme doch unhaltbar ist. Inzwischen stosse ich auch beim Durchdenken der aufgeführten Punkte nach dieser Theorie bereits auf Schwierigkeiten, die Hr. Hermann wohl hätte hinwegräumen sollen.

Was aber wird aus Hrn. Hermann's Theorie der Neigungsströme gegenüber den kürzlich von mir beschriebenen Versuchen an dem vom Gastroknemius oder Triceps femoris abgeschälten Sehnenspiegel oder einem daraus geschnittenen Bande?[5] Wie wird Hr. Hermann die in solchem Bande wirksame absteigende Kraft erklären, welche oft die aufsteigende der unversehrten Muskeln zwischen oberer und unterer Sehne übertrifft? War vielleicht zufällig an dem oberen Ende des doch überall merklich gleich breiten und dicken Bandes das Verhältniss der schädlichen Oberfläche zum Muskelinhalt stets grösser als am unteren? Vergebliche Ausflucht! Die Richtung der Kraft bleibt dieselbe, gleichviel ob man beim Zurichten des Bandes ihm nach oben oder nach unten zu immer längere Muskelbündel aufsitzen lässt, so dass es die Gestalt eines Keiles, mit beziehlich nach den Füssen oder nach dem Kopfe gerichteter Schneide, erhält. Ohnehin warum wirkte nicht auch ein quer aus dem Sehnenspiegel geschnittenes Band gleich stark und regelmässig elektromotorisch? Und wie kann Hr. Hermann die Wirkung der Faltung und Glättung des Bandes erklären, wobei es ganz gleichgültig ist, ob man sie nur in der oberen oder nur in der unteren Hälfte oder in der ganzen

---

[1] S. oben S. 94. 115. Vergl. Tab. I. II. auf Tabellen-Bogen No. I.

[2] S. oben S. 179.

[3] S. oben S. 100. 123.

[4] S. oben S. 102. Taf. II. Fig. 13.

[5] S. oben S. 307 ff.

Länge [607] des Bandes vornimmt, so dass nicht für ihn daran zu denken ist, sie von einem veränderten Verhältniss der Oberfläche zur Masse herzuleiten? Lauter Erfolge, die ich nicht allein klar, scharf und einfach aus meiner Hypothese entwickele, sondern sogar daraus vorhergesehen habe, wie aus der Natur der Versuche erhellt, die nicht der Art sind, dass man durch Zufall darauf kommen konnte.

Hrn. Hermann's Ableitung der Neigungsströme aus seinem Principe der grösseren schädlichen Oberfläche, wie es der Kürze halber heissen mag, ist also falsch. Dies ist für ihn um so schlimmer, als er desselben Principes noch zur Erklärung anderer wichtiger Erscheinungen bedarf.

## §. V. Hrn. Hermann's Theorie der Negativität des natürlichen Querschnittes wird widerlegt.

Wir kommen nämlich jetzt zur Erklärung der Negativität des natürlichen Querschnittes.

„Nach unserer Anschauung", heisst es a. a. O. S. 27. 28., „werden „auch am unverletzten Muskel alle Puncte, an welchen irgend einer Ur„sache halber der spontane Spaltungsprocess energischer verläuft als an „anderen, sich gegen die letzteren negativ verhalten müssen, und es „würde also umgekehrt der Strom ein Prüfungsmittel sein, um zu er„kennen, in welcher Weise die Geschwindigkeit des spontanen Erstarrens „im Muskel vertheilt ist. Wenn an unverletzten Muskeln gewöhnlich „die Sehne sich negativ verhält gegen die Mitte, so ist uns dies ein „Merkmal, dass in diesen Fällen an den natürlichen Enden der Fasern „die spontane Erstarrung energischer verläuft als in der Mitte; ein Grund „dafür lässt sich vor der Hand nicht mit Sicherheit angeben..... Da . . . „bei den unversehrten Muskeln das dünnere Ende sich gewöhnlich negativ „verhält gegen das dicke, und da ferner in den Muskelketten . . . ganzer „Gliedmaassen, z. B. des Hinterbeins der Frösche, welche bekanntlich „erst nach dem Enthäuten electrisch wirksam sich zeigen, das untere „Ende, welches durchweg sehr dünne Muskeln enthält, sich negativ ver„hält gegen die dickmuskelige Oberschenkelgegend, so ist es sehr wohl „möglich, dass die electromotorische Wirksamkeit auch der unversehrten „Muskeln zum grössten Theil [608] darauf beruht, dass dünnere Muskeln „und Muskeltheile wegen des grösseren Oberflächenverhältnisses schneller „sich spalten als dickere, dass also etwas Aehnliches vorliegt, wie bei den „Neigungsströmen."

Mit anderen Worten, Hr. Hermann weiss für die Negativität des

natürlichen Querschnittes schlechterdings keinen Grund, und hilft sich unbewusst damit, durch einen *Circulus in probando* aus dieser Negativität zu folgern, dass am natürlichen Querschnitt die Spaltungsgeschwindigkeit grösser sei, als am Aequator. Wirkte, so schliesst er, eine absterbende Schicht elektromotorisch in dem Sinne, wie das Absterben fortschreitet, so wäre die Negativität des künstlichen Querschnittes erklärt. Auch der natürliche Querschnitt ist negativ; folglich stirbt er nach dem Muskel zu ab. Dafür erbringt aber Hr. Hermann weiter keinen Beweis. Er zeigt nicht etwa durch den Versuch, dass wirklich dem natürlichen Querschnitt nahe der Muskel rascher abstirbt, wie er dies doch für die spitzen Rhombusecken gethan, wo es soviel weniger nöthig war (s. oben S. 325), sondern begnügt sich, eine Behauptung von solcher Tragweite durch den unbestimmten Hinweis auf das Princip der grösseren schädlichen Oberfläche zu stützen.

Ich habe es daher selber über mich nehmen müssen, diese Behauptung thatsächlich zu prüfen. Ist sie richtig, so müssen künstliche Querschnitte, die man stark negativen natürlichen Querschnitten möglichst nahe anlegt, nachdem die Muskeln eine Zeitlang der Luft ausgesetzt waren, sauer reagiren im Vergleich zu dem Aequator näheren Querschnitten. Man ist dabei auf den Sartorius und Cutaneus angewiesen, weil man nur an ihnen einen Schnitt führen kann, der sämmtliche Bündel in gleichem und möglichst kleinem Abstand von ihrem Ende trifft.[1] Die Muskeln wurden im feuchten Raum, bei mittlerer Temperatur, so aufbewahrt, dass ihre Enden frei in die Luft ragten. Die Reaction prüfte ich auf Liebreich'schen Täfelchen.[2] Weder an frischen Muskeln, noch nach 24, noch nach 48, noch endlich nach 72 Stunden, wo einige Muskeln schon ab- [609] gestorben, andere im Absterben begriffen waren, fand ich einen Unterschied der Reaction zwischen den verschiedenen Querschnitten, es mochten die sehnigen Enden gegen den Längsschnitt sich ursprünglich stark oder schwach negativ oder, was mehrmals vorkam, positiv verhalten haben. Diese eine Thatsache reicht im Grunde aus, um die Hermann'sche Theorie des Muskelstromes zu widerlegen, da sie zeigt, dass eine Stelle eines Muskels negativ gegen eine andere sein kann, ohne deshalb merklich früher abzusterben.

Wie dem auch sei, Hrn. Hermann's Hülfshypothese lässt sich durch den Versuch nicht erweisen. Wenn sie aber für die sehnigen Enden der regelmässigen Muskeln wenigstens insofern nicht ganz unberechtigt war, als diese Enden mehr als der Aequator der Luft und beim Zurichten

---

[1] S. oben S. 166.

[2] Vergl. oben S. 9. Anm. 1.

Verletzungen ausgesetzt sind, so entbehrt sie für den Sehnenspiegel des Gastroknemius und Triceps femoris nicht allein jedes Grundes, sondern sie widerspricht auch dem Augenschein. Welche Wahrscheinlichkeit ist wohl dafür, dass hier der durch einen dicken und derben Ueberzug von Sehnengewebe gegen die Luft geschützte natürliche Querschnitt früher absterbe, als der nur von dem verhältnissmässig dünnen und zarten Perimysium bedeckte Längsschnitt? Wenn Hr. Hermann selber schon diesem einen „sehr vollkommenen Schutz durch Perimysium und Sarko-„lemm“[1] zuspricht, um wie viel vollkommener muss nicht der Schutz durch jenen Ueberzug sein?

Für Hrn. Hermann sind jedoch die Thatsachen, aus denen die Negativität jedes Punktes eines Sehnenspiegels gegen den Längsschnitt, nach Maassgabe der Parelektronomie, folgt, wie es scheint, nicht vorhanden. Den aufsteigenden Strom im Gastroknemius und Triceps femoris erklärt er einfach aus ihrer nach unten verjüngten Gestalt, nach dem Princip der grösseren schädlichen Oberfläche. Nach ihm sterben also diese Muskeln der Achillessehne, der Strecksehne des Kniegelenkes nahe, trotz der sie dort grösstentheils umfassenden dicken Sehnenhaut, durch die Wirkung der Luft soviel schneller ab, als am Muskelkopfe, dass der Unterschied in der Geschwindigkeit des Absterbens [610] oft grösser ist als zwischen künstlichem Querschnitt und natürlichem Längsschnitt der regelmässigen Muskeln. Das nimmt Hr. Hermann an, obschon, wie ich fand, der Gastroknemius und Triceps femoris ausgeschnitten zehnmal länger als die regelmässigen Muskeln leben.[2] Abermals erwartet man vergeblich einen Versuch, der das raschere Absterben des unteren Endes der beiden Muskeln bewiese. Es werden nicht einmal die Schwierigkeiten erwähnt, die für diese Erklärung aus deren besonderem Bau erwachsen. Der Gastroknemius und Triceps femoris bestehen bekanntlich aus ganz

---

[1] A. a. O. S. 23.

[2] De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Berolini MDCCCLIX. 4⁰. p. 15. Nota 2. — [S. oben S. 12. Anm. 2.]. — Diese Thatsache ist jetzt, wo durch Hrn. Hermann chemisch, durch mich elektromotorisch die Oberflächenzehrung der Muskeln erwiesen ist (s. oben S. 323. Anm. 4.), aus dem Bau des Gastroknemius z. B. im Vergleich zum Gracilis leicht verständlich geworden, aber freilich unter anderen Voraussetzungen, als denen des Hrn. Hermann. Die kurze dicke Bündelmasse des Gastroknemius, deren einer natürlicher Querschnitt in ihr vergraben, der andere durch die dicke Sehnenhaut des Achillesspiegels geschützt ist, bietet der Atmosphäre nur eine verhältnissmässig kleine schädliche Oberfläche dar; und um von dieser Oberfläche aus bis zu den innersten Bündeln fortzuschreiten, braucht die schädliche Wirkung natürlich viel mehr Zeit, als um einen Muskel von so sehr viel kleinerer Bündelanzahl, wie den Gracilis, zu durchdringen. [Vergl. unten Abh. XXIV. §. X.]

kurzen, mehr oder minder schrägen Bündeln.[1] Es sind also nur zwei Fälle möglich. Entweder denkt sich Hr. Hermann, dass innerhalb der einzelnen Bündel, wegen der verschiedenen Dicke des Muskels an deren beiden Enden, verschiedene Spaltungsgeschwindigkeiten herrschen, und dass die daraus entspringenden elektromotorischen Kräfte sich sur Gesammtkraft des Muskels summiren, oder er lässt die fermentartige und elektromotorische Wirkung der absterbenden Muskelsubstanz auf ihre Umgebung auch durch das Sarkolemm von Bündel auf Bündel geschehen. Es ist nicht meines Amtes zu prüfen, welche dieser Annahmen die minder unwahrscheinliche ist, und überdies kommt darauf nichts an, da nach meinen Versuchen an abgeschälten Sehnenspiegeln (s. oben S. 326) die Hermann'sche Theorie des Gastroknemiusstromes ebenso unrettbar dahin ist, wie seine Theorie der Neigungs- [611] ströme überhaupt. Aber dass Hr. Hermann solchen Zweifeln Raum lässt, zeigt abermals, wie leicht er es mit der Ausarbeitung seiner Hypothese genommen hat.

Im Vorübergehen sei bemerkt, dass die mannigfachen Erscheinungsweisen des Stromes an einem durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten Gastroknemius, die in der Abhandlung: 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.' beschrieben und erklärt sind,[2] sich Hrn. Hermann's Theorie eben so vollständig entziehen, wie er sie unberücksichtigt gelassen hat. Doch will ich, der Kürze halber, die Schwierigkeiten, in die er dadurch geräth, nicht näher darlegen.

Hr. Hermann stellt es als allgemeine Thatsache hin, „dass bei den „unversehrten Muskeln das dünnere Ende sich gewöhnlich negativ ver- „hält gegen das dicke" (s. oben S. 327). Diese Angabe ist ganz irrig. Wegen ihrer Sehnenspiegel können Gastroknemius und Triceps femoris hier nicht mitzählen. Das Verhalten der vier regelmässigen Oberschenkelmuskeln erhellt, so weit es uns hier angeht, aus folgender Tabelle.[3]

---

[1] S. oben S. 69. 136.

[2] S. oben S. 137.

[3] Sie ist ein Auszug aus dem Anhang zur Tabelle IV. in der Abhandlung: Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w. (s. oben S. 158) Tabellen-Bogen No. II. — Andere Muskeln, als die genannten sechs, sind bisher nicht genauer untersucht.

| Stromstärken in Scalentheilen | Zwischen sehnigen Enden | Oberer / Unterer natürlicher Strom | Zwischen symmetrischen Querschnitten |
|---|---|---|---|
| Zahl der Versuche. | 30 | 20 | 30 |
| C | — 3·9 | — 13·9<br>+ 15·7 | +10·0 |
| S | —15·6 | — 41·3<br>+ 13·6 | — 3·4 |
| G | + 7·6 | — 73·2<br>+ 76·7 | —14·1 |
| Sm | —24·2 | —110·6<br>+ 45·8 | —42·0 |

[612] Der Gracilis, der überall merklich gleich dick ist, liefert zwischen sehnigen Enden einen, im Vergleich zum Strome zwischen Aequator und dem einen Ende, sehr schwachen aufsteigenden Strom; sein unteres Ende ist aus unbekannten Gründen etwas negativer als das obere. Am Cutaneus trifft Hrn. Hermann's Forderung zu; das obere dünnere Ende ist negativ gegen das untere dickere. Am Sartorius dagegen, der unten in einen schlanken Zipfel ausläuft, verhält sich dieser positiv gegen das breit abgesetzte obere Ende, und am Semimembranosus, der in einem grossen Theile seiner Länge von unten nach oben neue Bündel ansetzt,[1] ist auch das untere dünnere Ende positiv gegen das obere dickere. Man sieht, dass die Hermann'sche Theorie unter drei Fällen zweimal Unrecht bekommt.

Die dritte Spalte der Tabelle zeigt das Verhalten der Muskeln beim Auflegen mit zwei symmetrischen künstlichen Querschnitten. Am Gracilis findet aus unbekannten Gründen eine absteigende Wirkung statt, welche aber mindestens zehnmal schwächer bleibt als die zwischen Aequator und einem der Querschnitte (s. a. a. O.). Dagegen am Cutaneus verhält sich das untere, am Semimembranosus das obere dickere Ende stark negativ gegen das andere dünnere; und selbst am Sartorius zeigt sich noch ein elektromotorischer Unterschied im gleichen Sinne, obschon durch den unteren Querschnitt der Unterschied in der Dicke der Enden verkleinert wird. Abermals ein Erfolg, der Hrn. Hermann's Theorie widerspricht, wonach, wegen der grösseren schädlichen Oberfläche, vielmehr auch bei künstlichem Querschnitt das dünnere Ende stets das negativere sein sollte.

[1] S. oben S. 161.

Durchaus unverständlich ist die Erklärung, die Hr. HERMANN vom Strome ganzer Gliedmaassen, z. B. des Hinterbeines vom Frosche, giebt. Nach dem Princip der grösseren schädlichen Oberfläche lässt er „das „untere Ende, welches durchweg sehr dünne Muskeln enthält, sich negativ „verhalten gegen die dickmuskelige Oberschenkelgegend" (s. oben S. 327). Dies ist mit der ursprünglichen Annahme, wonach Muskelsubstanz von grösserer gegen solche von geringerer Spaltungsge- [613] schwindigkeit sich negativ verhält, insofern erstere auf letztere fermentartig wirkt, vereinbar nur unter der Bedingung, dass ein absterbender Muskel auch über ein Gelenk fort fermentartig auf einen anderen wirke, und dass dabei dieselbe elektromotorische Thätigkeit, wie bei Fortpflanzung des Spaltungsvorganges innerhalb eines Bündels stattfinde. Ausserdem lässt dabei Hr. HERMANN eine wohlbekannte Thatsache ausser Augen. Nach dem NYSTEN'schen Gesetze stirbt der Oberschenkel vor dem Unterschenkel, dieser vor dem Tarsus, letzterer vor dem Fuss ab.[1] Also auch wenn man Hrn. HERMANN jene unmögliche Forderung zugestände, wäre ihm nicht geholfen; denn danach müsste sich der Oberschenkel, statt wie in Wirklichkeit positiv, negativ gegen den Fuss verhalten.[2]

Vollkommen falsch ist endlich Hrn. HERMANN's Angabe, dass die Gliedmaassen „erst nach dem Enthäuten electrisch wirksam sich „zeigen" (s. oben S. 327); was, wenn es richtig wäre, allerdings gegen das Vorherbestehen elektromotorischer Unterschiede in den Muskeln und für deren Ursprung aus den Bedingungen des Versuches spräche. Allein ich habe, sobald ich nur der Hautungleichartigkeiten des Frosches und der Parelektronomie Herr geworden, bewiesen, 1. dass der Strom nicht bloss in den noch mit der Haut bekleideten Gliedmaassen, sondern auch im lebenden unversehrten Frosche bereits zugegen sei; 2. dass, wenn man solche Einflüsse ausschliesst, welche die parelektronomische Schicht schwächen, der Strom durch Enthäuten nur verstärkt wird, weil die Nebenschliessung durch [614] die Haut fortfällt.[3] An Hrn. HERMANN ist es, diesen Thatbestand mit seiner Theorie zu vereinigen. Selbst wenn wir ihm zugäben, dass auch im lebenden unversehrten Frosche die

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 164. 165.

[2] A. a. O. S. 31 Anm. kommt Hr. HERMANN auf diesen Punkt zurück mit den Worten: „Bei einem intacten Schenkel ist es höchst wahrscheinlich, dass die Puncte, „mit welchen sich die Muskeln berühren, gleiche Spaltungsgeschwindigkeit haben, „daher die Berechtigung des S. 27 von den Schenkelströmen Gesagten." Es scheint ihm also selber das Befremdliche seiner Theorie der Gliedmaassen-Ströme nicht ganz entgangen zu sein. Ich bekenne mich aber ausser Stande, die Begründung dieser Theorie zu verstehen, die in der letztangeführten Bemerkung enthalten sein soll.

[3] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 23. 173.

unteren Beinmuskeln rascher absterben als die oberen, und dabei auf letztere unter Stromerzeugung durch die Gelenke fermentartig wirken, so hülfe ihm dies nur wenig, da, wie wir eben sahen, nach Abtrennung des Beines das Verhältniss der Spaltungsgeschwindigkeiten sich umkehren würde, ohne dass der Strom sich umkehrt.

## §. VI. Hrn. Hermann's Theorie der Parelektronomie wird widerlegt.

Von der Parelektronomie begnügt sich Hr. Hermann zu sagen: „Kälte muss, indem sie die spontane Spaltung überhaupt verlangsamt „oder aufhebt, die bestehenden electrischen Ströme schwächen oder auf- „heben. Jedenfalls ergiebt sich leicht, dass die electromotorischen Er- „scheinungen am unverletzten Muskel mit der angegebenen Anschauung „keineswegs im Widerspruch stehen, dass im Gegentheil die parelectro- „nomisirende Wirkung der Kälte und die stromentwickelnde Wirkung der „Aetzung sehr gut zu ihren Gunsten angeführt werden können ...... „Parelectronomische Umkehrungen des Muskelstroms bieten . . . ebenso „wenig Schwierigkeit wie blosse Stromverminderungen; im Allgemeinen „ist eben am unverletzten Muskel kein Grund bekannt, weshalb stets die „Schichten an der Sehne in schnellerer Spaltung begriffen sein sollten, „als das Innere. Wo in der That das letztere der Fall ist, die Sehne „also gegen den Längsschnitt negativ sich verhält, kann die Kälte leicht „nicht bloss wie oben gesagt, durch Aufhebung des ganzen Spaltungs- „processes den Strom annulliren, sondern sie kann ihn auch, wenigstens „vorübergehend, umkehren, dann nämlich, wenn sie auf die Querschnitts- „gegend, etwa wegen grösserer Dünne derselben, schneller durchweg ab- „kühlend wirkt, als auf die Mitte.“ [1]

Diese Theorie der Parelektronomie beruht wieder auf einer falschen Auffassung der Thatsachen. Hr. Hermann stellt sich [615] vor, man könne einen ausgeschnittenen, sonst unversehrten Muskel durch Erkälten elektromotorisch unwirksam machen, oder seine Kraft umkehren, und ihm durch Erwärmen seine elektromotorische Kraft wiedergeben. Beides ist vollkommen unerwiesen. Weder die Kälte noch die Wärme, falls nicht letztere zerstörend wirkt, üben einen merklichen Einfluss auf die Parelektronomie ausgeschnittener Muskeln.[2] Die Parelektronomie entwickelt sich vielmehr, und verschwindet ebenso wieder, nur im lebenden

---

[1] A. a. O. S. 27. 28.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 117 ff.

Thiere. Hier ist allerdings bei dem Frosche die Kälte ein sicheres Mittel sie auszubilden, aber um sie zu beseitigen genügt auch die Wärme nicht. Man kann Frösche, nachdem sie einmal durch den Aufenthalt in der Kälte parelektronomisch wurden, tagelang im warmen Zimmer halten, und ihre unversehrten Gastroknemien bleiben doch stromlos. Wenn nun so gar kein örtlicher, unmittelbarer Einfluss der Temperatur auf die Parelektronomie beobachtet ist, wie kann Hr. HERMANN erklären, dass die gleichnamigen Muskeln des nämlichen Frosches, ja die beiden sehnigen Enden des nämlichen Oberschenkelmuskels oft ganz verschiedene Stufen der Parelektronomie zeigen? Nicht einmal die verzweifelte Hypothese würde ihm frommen, dass im lebenden Körper die Muskeln, oder ihre verschiedenen Abschnitte, verschiedenen Temperaturen ausgesetzt waren; dass die Mitte des Sartorius wärmer, die des dicht daneben liegenden Gracilis aber kälter war, als die sehnigen Enden dieser Muskeln! Und wenn nach Hrn. HERMANN's Theorie Wärme und Kälte solchen Einfluss auf die elektromotorische Kraft üben müssen, weshalb thun sie es denn nicht? Weshalb ist denn zwischen der Stromkraft eines eiskalten und eines auf 30$^{0}$ erwärmten Muskels der Unterschied so klein, dass ich ihn noch nicht sicher darzustellen vermochte? [1]

Um so auffallender ist dies, als ich bekanntlich zeigte, dass Muskeln bei 0$^{0}$ niemals sauer werden, sondern aus der neutralen Reaction des normalen Zustandes in die alkalische der Fäulniss [616] übergehen.[2] Die Kälte würde also sichtlich tief in den von Hrn. HERMANN angenommenen Spaltungsvorgang eingreifen, ohne doch die elektromotorischen Erscheinungen irgend vergleichbar in der von ihm verlangten Weise zu ändern.

Der künstliche Querschnitt ist dem sehnigen Ende nahe weniger negativ gegen den Längsschnitt, als in grösserer Entfernung davon; es kommt sogar vor, dass er schwach positiv ist, während der Querschnitt des abgeschnittenen sehnigen Endes sich negativ gegen den natürlichen Querschnitt verhält. Dem sehnigen Ende nahe wirkt in solchen Fällen der Muskel elektromotorisch nach Art eines elektrotonisirten Nerven oder eines innerlich polarisirten feuchten porösen Halbleiters.[3] Aus diesen Thatsachen gehen für Hrn. HERMANN's Theorie neue Verlegenheiten hervor. Nach ihr kann also aus unbekannten Gründen die Spaltungsgeschwindigkeit in der Mitte des Muskels grösser werden, als an einem künstlichen Querschnitt, und er muss erklären, weshalb man alsdann

---

1 S. oben S. 202. Anm. 2.

2 S. oben S. 22.

3 S. oben S. 166. 167. 194. Anm. 1.

nicht einen solchen Muskel von der Mitte aus rascher absterben sieht, als sei er querdurchschnitten; wovon nichts zu spüren ist.

Wenn nicht die Erscheinungen der Parelektronomie wären, gäbe es eine Abänderung der Hermann'schen Theorie, wobei ein grosser Theil der bisher erhobenen Schwierigkeiten fortfiele. Diese Abänderung, von der es mich wundert, dass Hr. Hermann nicht darauf gefallen ist, besteht darin, auf die einzelnen Bündel zu übertragen, was er vom ganzen Muskel aussagt, dabei aber das Absterben in den Bündeln so fortschreiten zu lassen, dass die Schichten gleicher Spaltungsgeschwindigkeit stets senkrecht auf die Axe der Bündel wären. Daraus ergäbe sich ohne Weiteres Alles von mir über die Neigungsströme Ermittelte, mit Inbegriff der Neigungsströme durch Dehnung und der Versuche am blossen Sehnenspiegel, ganz ebenso wie aus meiner Theorie. In der That wäre dabei nur die Breite der Stufen am schrägen Querschnitt geändert, die [617] bei mir durch die einander überragenden Molekelreihen, in der neuen Theorie durch die einander überragenden Enden der Bündel gebildet würden. Abgesehen von allen übrigen Bedenken würde, wie gesagt, diese Auffassung deshalb nichts an der Lage der Dinge ändern, weil Hr. Hermann ausser Stande bliebe zu rechtfertigen, dass unter Umständen der natürliche, ja sogar dem sehnigen Ende nahe der künstliche Querschnitt statt negativ, positiv gegen den Längsschnitt ist.

## §. VII. Hrn. Hermann's Theorie der Stromumkehr an gesottenen Muskeln wird widerlegt.

„Auf höchst einfache Weise“, sagt Hr. Hermann, „erklären sich „auch die Stromesumkehrungen, welche du Bois-Reymond beim Ein- „tauchen von Muskeln in siedendes Wasser beobachtet hat. Die Siede- „hitze zerstört die specifische Substanz des Muskels, indem sie ihr Spal- „tungsvermögen für immer vernichtet. .... Es ist nun durch du Bois „festgestellt, dass bei vorübergehender Einwirkung der Siedhitze dieselbe „nicht den ganzen Muskel durchdringt, so dass nunmehr sein Inneres „noch spaltungsfähig ist, seine oberflächlichen Schichten nicht mehr; der „ganze Strom rührt also nur noch her von dem noch spaltungsfähigen „Kern im Innern des Muskels, und es ist jetzt nicht der mindeste Grund „vorhanden, dass die dem Querschnitt zunächst liegenden Puncte jenes „Kernes in energischerer Spaltung begriffen wären als die dem Längs- „schnitt näheren; eben so gut kann das Umgekehrte eintreten, wie es „nach den Beobachtungen du Bois-Reymond's wirklich häufig der „Fall ist.“

Es ist aber allerdings noch immer ein Grund dafür vorhanden, dass die Spaltung am Querschnitt (um in Hrn. Hermann's Sinne zu schliessen) schneller geschehe, als am Längsschnitt. Denn vom Querschnitt aus vermag sie ohne Aufenthalt in der Länge der Bündel fortzuschreiten; hingegen am Längsschnitt wird durch die doppelten Sarkolemmdicken, welche die in den mehr oberflächlichen Bündeln entstandene Säure durchdringen muss, um in den tieferen Bündeln die Spaltung auszulösen, auf zahlreichen Punkten stets der Vorgang verzögert werden, so dass Hr. Hermann dergestalt wohl eine Schwächung, [618] aber nicht eine Umkehr der Kraft erklären kann. Oder sollen wir uns (vergl. oben S. 322) wirklich denken, dass auch zwischen zwei benachbarten Bündeln eine Fermentwirkung mit elektromotorischer Thätigkeit möglich sei?

Zweitens vermag Hr. Hermann nicht zu erklären, dass ein unversehrter gesottener Gastroknemius absteigend wirkt. Nach seiner Theorie müsste unter allen Umständen der Muskel fortfahren, aufsteigend zu wirken, denn die an die Luft gränzende schädliche Oberfläche ist durch den wärmestarren Ueberzug ersetzt, welcher den dem Muskel geometrisch ähnlichen noch spaltungsfähigen Kern umhüllt (vergl. oben S. 329).

Drittens setzt Hr. Hermann fälschlich voraus, dass es bei meinen Versuchen über Stromumkehr sich um eine nur augenblickliche Einwirkung der Siedhitze handelte, wie ich sie später anwendete, um die concentrischen Ringe von verschiedener Reaction auf Lakmuspapier zu erzeugen.[1] Vielmehr erhält man die Stromumkehr unter denselben Umständen, wo der Muskel durchweg alkalisch gefunden wird,[2] nämlich wenn ein in siedendes Wasser getauchter einzelner Muskel eine Minute und länger darin verweilt. Ich kann mich nicht darüber täuschen, weil ich den Aufenthalt in der Siedhitze absichtlich verlängerte, um die hartnäckig hinterbleibende Spur eines absteigenden Stromes, an der mir gar nichts lag, zu vernichten.

Viertens findet man den umgekehrten Strom auch zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt einzelner, von einem gesottenen Bein abgelöster Muskeln. Wäre Hrn. Hermann's Theorie richtig, so könnte dies nur dann der Fall sein, wenn man zufällig die Muskeln mit der äusseren Fläche auflegte, da die innere Fläche dem noch spaltungsfähigen Kern angehören würde. Jedenfalls ist ein solcher Unterschied bisher nicht bemerkt worden; in meinen Versuchen waren die Muskeln auch immer durch und durch weiss geronnen.

---

[1] S. oben S. 18; — unten S. 339.

[2] Ebenda.

### [619] §. VIII. Hrn. HERMANN's Theorie der negativen Schwankung im Tetanus widerlegt sich unter anderem dadurch, dass sie die Erscheinungen an den unversehrten und den parelektronomischen Muskeln unerklärt lässt.

Das Geheimniss der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung soll nach Hrn. HERMANN darin bestehen, dass auf allen Punkten des Muskelinneren der Spaltungsvorgang bis zum Maximum beschleunigt wird, und so die hypothetische Ursache der Stromerzeugung fortfällt. Da Zusammenziehung und Starre für ihn einerlei sind, so ist hiermit nichts Neues gesagt, vielmehr bildet diese Erklärung der negativen Schwankung einen Theil seiner ursprünglichen Hypothese. Auch für den Fall, wo die noch schwebende Frage nach der Tiefe, zu der die Stromkraft bei der Zusammenziehung sinkt, dahin entschieden würde, dass der Strom sich umkehrt, hat Hr. HERMANN eine Erklärung bereit. „Der Strom wird sein Vorzeichen umkehren," heisst es, „wenn die Beschleunigung der Spaltungsgeschwindigkeit durch den „Reiz im Innern des Muskels so gross ist im Vergleich zu der in den „Schichten am Querschnitt, dass das Muskelinnere momentan selbst „rascher sich spaltet als die dem künstlichen Querschnitt zunächst liegen-„den Schichten."[1] Dies ist wieder nur auf die Zusammenziehung übertragen die Erklärung der Stromumkehr durch Parelektronomie (s. oben S. 333), doch bedarf sie hier noch der Hülfshypothese, dass während der negativen Schwankung, die kein Hundertel einer Secunde dauert, das Muskelinnere fermentartig auf die Schicht am Querschnitt wirke, was ja Bedingung für die Negativität des ersteren gegen letztere ist.

Da, wie wir sahen, Hr. HERMANN den Strom der unversehrten Muskeln, der enthäuteten und nicht enthäuteten Gliedmaassen, den Strom am lebenden Thiere nicht, oder nur durch eine Häufung der fremdartigsten Annahmen zu erklären vermag, so fällt auch die Deutung, die er von der negativen Schwankung jenes Stromes auf Grund desselben Principes, wie [620] am querdurchschnittenen Muskel, versucht, in sich zusammen. Ueber die absolut negative Stromschwankung an parelektronomischen Muskeln aber geht er mit der Hülfshypothese hinweg, dass sie möglicherweise auf ungleichzeitiger, statt auf ungleichgradiger Spaltungsbeschleunigung beruhe, indem der Spaltungsvorgang von der Eintrittsstelle des Nerven wellenförmig nach den Muskelenden hin ablaufe.[2]

---

[1] A. a. O. S. 31.

[2] A. a. O. S. 36. — [Vergl. unten Abh. XXVII. §. XXV.]

Wendet man dies auf den Gastroknemius an, so soll also ein wegen Parelektronomie stromloser Gastroknemius bei der Zusammenziehung absteigend wirken, weil die Zusammenziehung von oben nach unten herabsteigt. Der Kopf des Muskels erhält früher als sein unterer Theil grössere Spaltungsgeschwindigkeit, daher des letzteren Positivität gegen ersteren. Dies ist in doppelter Beziehung ungenau gedacht. Erstens entsteht abermals das Dilemma, in welchem wir uns schon oben S. 330 befanden. Entweder Bündel von verschiedener Spaltungsgeschwindigkeit wirken nicht durch das Sarkolemm hindurch elektromotorisch aufeinander; dann müsste, damit die Erklärung möglich wäre, erst bewiesen werden, dass in den einzelnen Bündeln die Zusammenziehung von oben nach unten abläuft. Oder die Bündel sollen durch das Sarkolemm aufeinander in der oft erwähnten Art wirken; dann würden wir diese Annahme selber verwerfen. Allein wenn auch zweitens wirklich im Beginn der Zusammenziehung die Hauptsehne oder die oberen Enden der Bündel negativ wären gegen die Achillessehne, beziehlich die unteren Enden, weshalb findet dann nicht gegen das Ende der Zusammenziehung das Umgekehrte statt? Und wenn es stattfindet, weshalb heben sich nicht die beiden einander so schnell folgenden entgegengesetzten Wirkungen an der Multiplicatornadel auf?

Wenn endlich ein hoch parelektronomischer Gastroknemius schon in der Ruhe absteigend wirkt, d. h. ursprünglich schon nach Hrn. Hermann am Muskelkopfe oder den oberen Enden der Bündel die grössere Spaltungsgeschwindigkeit herrscht, müsste bei der Zusammenziehung der Strom unter denselben Umständen, wie am positiv wirksamen Muskel, abnehmen. Jedermann weiss, dass in Wirklichkeit das Entgegengesetzte erfolgt.

[621] Der secundäre Tetanus, im Verein mit der Tonhöhe des tetanischen Muskels, lässt bekanntlich keinen Zweifel daran, dass die elektrische Beschaffenheit des Muskels mit den mechanischen Zuständen der Ruhe und Thätigkeit Hunderte von Malen in der Secunde wechseln kann. Diese Zustände unterscheiden sich für Hrn. Hermann, wie gesagt, durch nichts, als durch die Geschwindigkeit, womit in beiden das Inogen sich spaltet. Um aber „das Bedenken derjenigen zu erledigen, welche sich „nur schwer entschliessen können, Vorgänge von so grosser Promptheit „und Energie, wie die Nervenleitung und die Muskelverkürzung, unmittel„bar mit chemischen Processen zu identificiren, mit denen man für „gewöhnlich den Begriff des Langsamen, Allmählichen verbindet“, sagt Hr. Hermann: „. . . Es hat nichts Wunderbares mehr, dass ein schritt„weise vorschreitender Gährungsprocess in $^1/_{400}$ Secunde die Länge eines „Frosch-Ischiadicus durchläuft, oder dass die Spaltung im Muskel mehrere

„Mal zwischen zwei Geschwindigkeiten abwechseln kann, . . . . wenn man „nur unter den chemischen Processen die wirklich analogen, namentlich „die explosiven, zur Vergleichung wählt.“[1] Ich will über die wirkliche Analogie der hypothetischen Inogenspaltung mit der „Explosion der Schiess-„baumwolle, des Chlorstickstoffs, des Schiesspulvers, u. s. f.“[2] mit Hrn. HERMANN nicht rechten, sondern nur an eine ihm wohlbekannte Thatsache erinnern, die mir einen Maassstab für die Geschwindigkeit abzugeben scheint, mit der die Säurung des Muskels, d. h. also nach Hrn. HERMANN die Inogenspaltung, stattzufinden vermag. Es ist die, dass ein in siedendes Wasser geworfener Muskel nicht sauer wird (vergl. oben S. 336). Nur einen Augenblick eingetaucht, zeigt er querdurchschnitten auf Lakmus aussen und innen unveränderte Reaction, dazwischen einen sauren Ring. Langsam mit dem Wasser zur Siedhitze erwärmt, wird er durch und durch sauer.[3] Es bedarf also das Inogen zur Spaltung durch [622] die Temperatur von 40—50° C., die doch Hr. HERMANN als eine der wirksamsten Ursachen der Spaltung betrachtet, einer sehr viel längeren Zeit, als der kürzesten möglichen Periode eines tetanisirten Muskels entspricht. Denn die Zeit, während welcher eine Muskelschicht jener Temperatur ausgesetzt bleibt, während die Siedhitze den Muskel durchdringt, ist bei der schlechten Wärmeleitung des Muskels unstreitig viel länger als $^1/_{130}''$, d. h. als die kürzeste Periode, welche genau zu messen Hr. HELMHOLTZ zufällig die Mittel besass, welche aber bei weitem nicht die kürzeste mögliche ist.[4]

## §. IX. Der Grundirrthum der HERMANN'schen Hypothese, den Muskelstrom als Leichenerscheinung aufzufassen, zeigt sich in ihrem Unvermögen, die Querschnittsströme und das Gesetz der Spannweiten am Querschnitt zu erklären.

Unter den elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln, welche Hr. HERMANN hätte berücksichtigen sollen, die er aber unerwähnt lässt, befinden sich auch die sogenannten schwachen Ströme des Querschnittes und das Gesetz der Spannweiten am Querschnitt. Vielleicht hielt er sie für zu unbedeutend; und doch sind sie es, woran seine Theorie vollends zu Grunde geht.

Nach dieser Theorie nämlich müsste es zwar Querschnittsströme

---

1 A. a. O. S. 73.

2 A. a. O. S. 75.

3 S. oben S. 18 ff.

4 Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1864. S. 310. — Vergl. oben S. 30. Anm. 2.

geben, aber diese müssten die umgekehrte Richtung haben von der, die sie in Wirklichkeit zeigen. Das Princip der grösseren schädlichen Oberfläche verlangt, dass die grösste Spaltnngsgeschwindigkeit am Umfang des Querschnittes herrsche; die Kante zwischen Längs- und Querschnitt muss danach am senkrecht durchschnittenen Muskel dieselbe Rolle spielen, wie am schräg durchschnittenen Muskel die spitze Rhombusecke, d. h. sie muss am negativsten sein.[1] Dies ist nun bekanntlich so wenig [623] der Fall, dass die elektromotorische Kraft zwischen Längs- und Querschnitt um einen ansehnlichen Bruchtheil grösser ausfällt, wenn die Thonspitze die Mitte, als wenn sie den Umfang des senkrechten Querschnittes eines regelmässigen Muskels berührt. Mit zwei Thonspitzen kann man unmittelbar die Negativität der Mitte gegen den Umfang nachweisen. Sogar am schrägen Querschnitt der künstlichen Muskelrhomben zeigt sich dasselbe. Keineswegs ist die spitze Rhombusecke stets am negativsten; oft erweist sie sich als positiv gegen einen nach der stumpfen Ecke zu gelegenen Punkt, und auch wo sie dies nicht thut, spricht sich die grössere Negativität der Mitte des schrägen Querschnittes, nach Abzug der Neigungsstromkraft, darin aus, dass diese letztere zwischen stumpfer Ecke und Mitte scheinbar grösser ausfällt, als zwischen Mitte und spitzer Ecke. Das Nämliche sieht man am schrägen natürlichen Querschnitt, dem Sehnenspiegel des Gastroknemius oder Triceps femoris. Der tiefste Punkt dieser Spiegel verhält sich nicht stets am negativsten, sondern oft ein etwas höherer. Auch wo dies nicht der Fall ist, ist die aufsteigende Neigungsstromkraft bei gleicher Spannweite scheinbar grösser zwischen

---

[1] Obschon Hr. HERMANN S. 23 seiner Schrift sagt: „Der Längsschnitt des „Muskels wird, da die Vorgänge in den oberflächlich gelegenen Röhren kaum „schneller verlaufen können, als in den tieferen (wegen des sehr vollkommenen „Schutzes durch Perimysium und Sarcolemm), ein ziemlich treues Bild der electri„schen Zustände in der jedem Puncte entsprechenden Querschicht gewähren," und obschon er S. 24 von der „an einem senkrechten Querschnitt an allen Puncten „gleichen Geschwindigkeit des Erstarrens" spricht, wird er jetzt doch vielleicht einwenden, dass nicht der Rand des Querschnittes und nicht die spitzen Rhombusecken selber am negativsten zu sein brauchen, weil in den oberflächlichen Bündeln wegen der Oberflächenzehrung der Unterschied der Spaltungsgeschwindigkeit, trotz deren absoluter Grösse am Querschnitt, ein kleinerer sei; um so eher, als er finden dürfte, dass er diese Annahme braucht, um die elektromotorische Ueberlegenheit dickerer Muskeln zu erklären (s. oben S. 324). Die Kraft und Beständigkeit jedoch, womit auch dünnere Muskeln, wie der Sartorius eines kleinen Frosches, elektromotorisch wirken, zeigen, wie wenig tief der schädliche Einfluss der Luft geht. Danach müsste wenigstens bei dickeren Muskeln ein negatives Maximum der Kante zwischen Längs- und Querschnitt so nahe stattfinden, dass der Erfolg im Versuch derselbe wäre, wie bei grösster Negativität der Kante selber.

der Mitte des Spiegels und dessen oberem stumpfen Rande, als zwischen der Mitte und dem tiefsten Punkte. Von dieser algebraischen Summation der Querschnitts- und der Neigungsströme ist die HERMANN'sche Theorie [624] unfähig, Rechenschaft zu geben. Und welchen Grund kann sie dafür anführen, dass ein am Rande des Spiegels mit dessen Mitte gleich hoch gelegener Punkt sich nach Maassgabe der Parelektronomie positiv gegen die Mitte verhält? Wird sie wieder zu ihrem gewohnten Kreisschlusse greifen und sich dabei beruhigen, dass aus irgend einem Grunde die in der Mitte des Spiegels entspringenden Bündel schneller sterben als die am Umfange? Aber Hr. HERMANN selber hat uns ja chemisch gelehrt, dass die Muskeloberfläche durch die Atmosphäre einen nicht physiologischen, also schädlichen Angriff erleidet; ich habe dasselbe elektromotorisch dargethan (s. oben S. 323 Anm. 4.); und oben S. 329. Anm. 2 sahen wir, wie sich das im Vergleich zu regelmässigen Muskeln lange Ueberleben des Gastroknemius und Triceps dadurch erklärt, dass ihre inneren Bündel gegen jenen Angriff geschützt sind: also lässt sich mit grösster Sicherheit das Gegentheil von dem behaupten, was für Hrn. HERMANN hier das einzige denkbare Auskunftsmittel wäre.

Die Querschnittsströme im Verein mit der Oberflächenzehrung beweisen, dass durch letztere die Negativität des Querschnittes vermindert wird, und daraus wiederum folgt, dass diese Negativität nicht eine durch den schädlichen Einfluss der Luft, des Schnittes u. d. m. bedingte Leichenerscheinung, sondern eine durch jenen Einfluss gehemmte Lebenserscheinung ist.

## §. X. Hrn. HERMANN's Theorie der Elektrotonusströme wird widerlegt. Fälschlich beruft er sich, um sie zu stützen, auf das Princip der Erhaltung der Kraft.

Dass die glatten Muskeln weder durch Wärmestarre, noch durch Todtenstarre, je sauer werden,[1] ist für Hrn. HERMANN kein Hinderniss, seine Theorie auf sie auszudehnen. Zwar geschieht ihrer und dieser von ihnen dargebotenen Schwierigkeit in seiner Schrift keine Erwähnung. Allein S. 20 erklärt er allgemein: „dass es für die Stärke des Stromes[2] „gleichgültig sein muss: 1. wie viel Säure im Ganzen gebildet wird, es „kommt nur auf die Geschwindigkeit der Säurebildung an; 2. ob die „[625] Säure frei auftritt, oder ob sie durch das Vorhandensein freien

[1] S. oben S. 25.

[2] Die elektromotorische Kraft. Vergl. oben S. 223. Anm. 1.

„Alkalis gesättigt wird . . . Dies beweisen die . . . Gährungsversuche mit „sauer und alkalisch gemachter Zuckerlösung." (Vergl. oben S. 323). Ich weiss nicht, ob sich ein Elektriker finden wird, der bereits auf diese Versuche hin glaubt, dass die elektromotorische Kraft in einer Flüssigkeitskette von der chemischen Natur eines der Kettenglieder unabhängig sein könne. Auf alle Fälle ist in den glatten Muskeln weder die Säure, noch die zu deren Uebersättigung erforderliche Menge Alkali, noch endlich die diesem Vorgang entsprechende Aenderung der Reaction nachgewiesen.

So wird denn auch in den Nerven, lediglich auf Hrn. Funke's Beobachtungen hin, wonach die Nerven bei dem Absterben und der Anstrengung sich säuern,[1] eine nach Art des hypothetischen Inogens sich spaltende Substanz angenommen, und es werden dann auf den Nerven alle die Behauptungen übertragen, die wir schon am Muskel kennen lernten. Für den Strom vom Längs- zum Querschnitt, für die Längsschnittsströme, für das Absterben und die negative Schwankung bei der Thätigkeit, für die Stromumkehr nach Misshandlungen gilt dasselbe Schema wie dort. Hr. Hermann wusste, als er sich diesen Verallgemeinerungen hingab, noch nicht, dass Hr. O. Liebreich die Säurung der Nerven bei der Anstrengung läugnet,[2] und dass die elektromotorische Kraft der Nerven grösser ist als die der Muskeln,[3] obschon die Säurung der letzteren beim Absterben die der ersteren übertrifft.

Hr. Hermann geht dann zur Erklärung des Elektrotonus der Nerven über. Er macht dazu die neue Hypothese, dass die Kathode die Spaltungsgeschwindigkeit in ihrer Umgebung erhöhe, die Anode sie herabsetze. Daraus folgt dann nach seinen früheren Hypothesen vor der Kathode und hinter der Anode ein Strom im Nerven in dem Sinne des erregenden Stromes. Denkt man sich den erregenden Strom fort, und aus anderen Gründen die Spaltungsgeschwindigkeit an der früheren Kathode erhöht, [626] an der früheren Anode herabgesetzt, so würde, nach denselben Hypothesen, ein Strom im Nerven entstehen im umgekehrten Sinne des erregenden Stromes. Dies erscheint Hrn. Hermann als der Triumph seiner Lehre, indem er darin einen Fall reciproker Erregung von Naturkräften nach dem Gesetz der Erhaltung der Kraft sieht, ähnlich der Peltier'schen Umkehr des Seebeck'schen Phänomens.

Hr. Hermann bedenkt dabei nicht, dass er ausser Stande ist, eine mechanische Vorstellung davon zu geben, wie die Spaltungsgeschwindig-

---

[1] S. oben S. 37.

[2] Tageblatt der 41. Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in Frankfurt a. M. 1867. No. 6. S. 73.

[3] S. oben S. 250.

keit durch die Kathode erhöht, durch die Anode herabgesetzt werde, und dass dies abermals Hypothesen sind, lediglich den Dingen entnommen, die sie erklären sollen. Hätte er der entgegengesetzten Annahme bedurft, um die construirte Stromrichtung mit der beobachteten zusammenfallen zu lassen, er würde ebenso unbedenklich dazu gegriffen und dann nicht daran gedacht haben, sich auf das Gesetz der Erhaltung der Kraft zu berufen. Schon daraus erhellt, dass das Zusammentreffen, worauf Hr. Hermann solchen Werth legt, auch rein zufällig und somit bedeutungslos sein kann. Dass es dies wirklich ist, folgt daraus, dass die hier versuchte Anwendung des Gesetzes der Erhaltung der Kraft Hrn. Hermann's Grundhypothese widerspricht.

Danach soll die elektromotorische Wirkung zwischen zwei aneinander gränzenden Längenelementen einer Nervenröhre an die Fermentwirkung des sich schneller spaltenden auf das sich langsamer spaltende geknüpft und dabei dem Unterschiede der Spaltungsgeschwindigkeiten proportional sein (s. oben S. 321. 322). Dieser Unterschied wird durch die Fermentwirkung, sobald sie beginnt und folglich erst die elektromotorische Wirkung möglich wird, verkleinert. Eine Fermentwirkung braucht aber in keiner bestimmten Grösse stattzufinden. Das Ferment ertheilt einem labilen System einen Anstoss, und die zufällige Disposition des Systemes [1] bedingt den Erfolg. Die elektro- [627] motorische Wirkung, insofern sie an die Fermentwirkung geknüpft und einer von dieser abhängigen Grösse proportional sein soll, kann also unter Umständen, welche bis auf die zufällige Disposition des Systemes einerlei sind, grösser oder kleiner sein. Der erregende Strom soll nun nach Hrn. Hermann's neuer Hypothese den Unterschied der Spaltungsgeschwindigkeiten zwischen den durchflossenen Nervenelementen in dem Sinne vergrössern, dass ihm entgegen unter Fermentwirkung ein Spannungsunterschied entsteht, zwischen welchem und der Dichte des erregenden Stromes Aequivalenz herrscht. Dies kann nicht sein, weil jener Spannungsunterschied von der zufälligen Disposition des labilen Systemes abhängt, welches die Molecüle des sich langsamer spaltenden Nervenelementes vorstellen, diese Disposition aber durch Kräfte bestimmt wird, die in Bezug auf die betrachteten äussere sind.

Gegen Hrn. Hermann's Theorie des Elektrotonus bietet sich ein Einwand dar, der auch ihrem Urheber nicht entgangen ist, und den ich

[1] So nenne ich z. B. die verschiedene Richtung, in der ein labil aufgehängtes Pendel von demselben Stosse getroffen werden kann. Je nach der Grösse der auf die Drehungsaxe senkrechten Componente wird der Umsturz mehr oder minder sicher erfolgen.

daher mit seinen eigenen Worten anführe. Er nennt ihn, worin ihm nach Allem Voraufgegangenen wohl Wenige beistimmen werden, „die „einzige Schwierigkeit, welche seiner Anschauungsweise anscheinend „entgegensteht . . Wenn nämlich die Anode nur die Spaltungsgeschwin- „digkeit herabdrückt, so ist nicht abzusehen, wie eine solche Depression „sich fortpflanzen soll, was wir nur von dem entgegengesetzten Processe, „von der Spaltungsbeschleunigung . . . verstehen können. Ferner nehmen „wir . . . an, dass eine solche Fortpflanzung möglich sei, so könnte der „dadurch . . . bewirkte Stromzuwachs nie grösser sein, als der stärkste „ruhende Nervenstrom (zwischen Aequator und Querschnitt); denn die „Spaltungsgeschwindigkeit kann an der Anode nicht tiefer sinken als auf „Null.“[1]

Etwas grösser als zwischen Aequator und Querschnitt könnte die Kraft des Anelektrotonusstromes nach der HERMANN'schen Hypothese schon werden, da Hr. HERMANN, was er hier vergisst, die normale Spaltungsgeschwindigkeit sonst nicht = Null setzt; aber freilich nicht, wie ich seitdem bekannt machte, [628] 25 Mal grösser,[2] und regelmässig um ein Beträchtliches grösser als die des Katelektrotonusstromes. Trotzdem fährt nun Hr. HERMANN fort: „Mancher wird diese Schwierigkeit für so „gross halten, dass sie ihm die ganzen hier aufgestellten Anschauungen „umzustossen scheint. Ich selbst jedoch halte die letzteren für ander- „weitig zu gut begründet, als dass ich in jener Schwierigkeit etwas „anderes sehen sollte, als einen Anknüpfungspunct für die künftige Auf- „findung eines weiteren wichtigen Zusatzes zu den hier gewonnenen „Sätzen. Ich will nur die Vermuthung andeuten, dass hier der dem „Spaltungsprocess gewissermaassen gegenüberstehende synthetische Resti- „tutionsprocess“ (s. oben S. 320) „eine Rolle spielt,[3] . . . . dass die in „oxydativer Synthese begriffene Substanz sich positiv verhält gegen solche, „welche in demselben, aber langsameren Process, oder in Spaltung be- „griffen ist. Der Sachverhalt liesse sich dann auch dahin ausdrücken, „dass Vermehrung des Vorraths an dem spaltungsfähigen Körper die „Substanz positiv electrisch, Verminderung sie negativ macht, beides um „so stärker, je geschwinder die Veränderung ist.“[4] Von einer Fermentwirkung, als Bedingung der elektromotorischen Wirkung, ist hier nicht weiter die Rede.

Näher auf diese Zukunftsphysiologie einzugehen, möchte heute

---

[1] A. a. O. S. 41. 42.
[2] S. oben S. 250. 260.
[3] A. a. O. S. 42.
[4] A. a. O. S. 42. Anm.

noch nicht lohnen, und es ist guter Grund vorhanden, zu zweifeln, dass dies je der Fall sein werde. So lässt sich der Sturz einer auf die Spitze gestellten Pyramide dadurch aufhalten, dass ein auf die Basis gesetztes Gewicht für einen Augenblick den Schwerpunkt wieder über den Unterstützungspunkt verlegt, aber das Gleichgewicht wird so nur noch labiler, und um so härter der schliessliche Fall.

Hr. Hermann verlässt hier die elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln und Nerven, verfolgt jedoch, wie schon Eingangs gesagt wurde, noch lange (wir sind erst bei der Hälfte der Schrift angelangt) ähnliche Ideen durch das ganze Gebiet der allgemeinen Physik der Muskeln und Nerven, indem er sich [629] eines zufälligen Zusammentreffens seiner theoretischen Forderungen mit den Thatsachen freut, über entgegenstehende Schwierigkeiten aber sich leicht hinwegsetzt. Es ist meine Absicht nicht, seinen Constructionen weiter kritisch nachzugehen, doch kann ich nicht verschweigen, dass mir jede Theorie der Muskel- und Nerventhätigkeit todtgeboren erscheint, die von der Bedeutung weder der Fleischprismen, noch des Axencylinders, noch der Nervenendplatte etwas zu sagen weiss. Dagegen ist es jetzt an der Zeit, einigen Angriffen zu begegnen, die Hr. Hermann gegen die von mir aufgestellte sogenannte Molecularhypothese richtet.

## §. XI. Hrn. Hermann's theoretische Einwände gegen die Molecularhypothese werden widerlegt.

Hr. Hermann giebt im Allgemeinen zu, dass die Molecularhypothese sich mit dem Thatbestande sehr vollkommen decke. Er wendet indess dagegen theoretisch ein, dass danach „der Muskelstrom wesentlich die „Wirkung des letzten, am Querschnitt liegenden Molecüls ist. Hierin „liegt eine gewisse Schwierigkeit, da wo zur Erklärung von messbaren „Wirkungen in der Physik wirksame Molecüle angenommen werden, „man stets jedem einzelnen Molecül eine unmessbar kleine Wirkung zu„zuschreiben gewohnt ist, und die messbare Gesammtwirkung als das „Resultat einer Reihe von unmessbar vielen, sämmtlich in gleichem Sinne „wirkenden Molecülen betrachtet. Diese Schwierigkeit könnte jedoch da„durch beseitigt werden, dass man sich die Molecüle nicht als unmess„bar kleine, sondern als verhältnissmässig grosse Körper vorstellt, denen „man eine so bedeutende Wirkung, wie der Muskelstrom es ist, allenfalls „zuschreiben kann.“ [1]

---

[1] A. a. O. S. 2.

Diesem Einwande des Hrn. HERMANN liegen, wie es scheint, zwei Missverständnisse zu Grunde.

Erstens stelle ich mir die elektromotorischen Molekeln nicht unmessbar oder unendlich klein vor, sondern nur so klein im Vergleiche zur Berührungsfläche der feinsten ableitenden Spitze, dass [630] der aus ihrer endlichen Grösse entspringende Fehler in die Grenzen der Beobachtungsfehler fällt.

Zweitens könnten sie unendlich klein sein, und Alles von ihrer Wirkung Gesagte würde, mathematisch-physikalisch, doch bestehen bleiben. In der That nämlich schreibt die theoretische Physik den Molekeln nur insofern unendlich kleine Wirkungen zu, als in den Ausdruck für die Molecularwirkung die unendlich kleinen Ausmessungen der Molekeln als Factoren eingehen. Die Summation dieser unendlich vielen unendlich kleinen Wirkungen liefert eine endliche Grösse, indem von den unendlich kleinen Ausmessungen der Molekeln zu den endlichen Ausmessungen der daraus bestehenden Körper übergegangen wird. Dies findet auch am Muskel statt. Die Berührung einer im Querschnitt gelegenen unendlich kleinen Molekel, oder des entsprechenden Elementarfeldes, mit einer Spitze von entsprechendem Querschnitte gäbe allerdings keinen endlichen, sondern wegen des unendlich grossen Widerstandes einen unendlich schwachen Strom. Dagegen ein Ableiter von endlicher Ausdehnung stets eine unendliche Anzahl von Molekeln umfassen und daher von einem endlichen Strome durchflossen sein würde.[1]

S. 67 seiner Schrift rühmt Hr. HERMANN die grössere Einfachheit seiner Theorie, welche nur auf dem einzigen Satze der Negativität schneller sich spaltender gegen langsamer sich spaltende Substanz beruhe, gegenüber der Moleculartheorie, welche „eine Anzahl von einander unabhängiger „Annahmen mache, z. B. dass die peripolare Anordnung durch gewisse „Umstände an den Enden des Muskels, ferner durch gewisse Umstände „im Nerven in die dipolare übergeht, dass die electromotorische Kraft „während der Thätigkeit abnimmt, oder die Molecülpole selbst sich um„kehren.“

Hr. HERMANN übersieht auch hier zweierlei. Erstens, dass er mit seiner Einen Hypothese nur auskommt, indem er durch Kreisschlüsse und Hülfshypothesen *ad hoc* die Bedingungen, deren er zu ihrer Anwendung bedarf, unbewiesen voraussetzt, [631] wo es ihm beliebt. Zweitens den Nachtheil, in den seine Theorie im Vergleich zur meinigen durch den Umstand geräth, worin er, sonst natürlich mit Recht, einen anderen

---

[1] Vergl. HELMHOLTZ in POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 375.

Vorzug jener erblickt, nämlich dadurch, dass sie auf die letzten Ursachen der Erscheinungen zurückgeht[1] und diese aus den allgemeinen Eigenschaften der Materie zu begreifen sucht. Eine Hypothese, welche dies beansprucht und sich nicht bloss, wie meine Molecularhypothese, damit begnügt, der einfache Ausdruck der Erscheinungen zu sein, hat dann auch die Verpflichtung, sich selber getreu, überall rationell zu bleiben; sie darf nicht, wie Hr. Hermann fortwährend thut, jene letzten Ursachen voraussetzen, wo sonst kein Grund dafür ist, oder wo sie sich durch keine andere Wirkung bekunden.

Hr. Hermann vergleicht seine Hypothese mit der chemischen Hypothese über den Ursprung des galvanischen Stromes, und die Molecularhypothese mit der Contacttheorie; ein Vergleich, den ich mir gern gefallen lasse, da von den beiden Theorien noch immer, wie vor fünfundzwanzig Jahren, Hrn. Poggendorff's treffendes Wort gilt: „dass die Contact-„Theorie nicht widerlegt und die chemische Theorie nicht erwiesen ist.“[2] Nie aber hat die chemische Hypothese, auch wo sie sonst am Ungezwungensten verfuhr, an der Stelle eines Kreises, wo ein Strom entsprang, chemische Thätigkeit angenommen, ohne zugleich chemisch dazu befugt, oder ohne anderenfalls bemüht zu sein, den aus der elektromotorischen Wirkung erschlossenen Chemismus wirklich darzuthun.

Gerade weil wir von den elektromotorischen Molekeln und den ihre Anordnung beherrschenden Kräften sonst nichts wissen, dürfen wir ihnen zur Erklärung neuer Erscheinungen, innerhalb der Grenzen des physikalisch Möglichen, neue Eigenschaften und Lagen zuschreiben. Meine Erklärung der Parelektronomie ist daher formell eine völlig ebenso gute, wie z. B. in der Lehre vom Magnetismus die von Niemand getadelte der Folgepunkte und des Diamagnetismus durch andere Richtung der Ampère-schen [632] Strömchen. Wenn meine Hypothese nicht erklärt, weshalb der Elektrotonus sich im Muskel nicht wie im Nerven fortpflanzt, so hat dies für sie nicht mehr zu sagen, als für die Ampère'sche Theorie, dass der Magnetismus sich im Stahle nicht wie im Eisen räumlich ausbreitet, und dafür in der Zeit beharrt. Hrn. Hermann's Hypothese dagegen gereicht derselbe Mangel allerdings zum Vorwurf, und es ist für sie keine Entschuldigung, dass auch meine Hypothese daran leidet.[3]

---

[1] A. a. O. S. 66. 67.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 210.

[3] A. a. O. S. 43.

## §. XII. Hrn. Hermann's Versuche wider die Molecularhypothese sind theils unrichtig, theils beweisen sie nicht, was sie sollen.

Hr. Hermann hat auch einige Versuche angestellt, die er zwar nicht gerade für *Experimenta crucis* für seine und wider meine Hypothese ausgiebt, von denen er aber doch meint, dass sie sich aus seiner Vorstellung besser als aus der meinigen, oder auch vorläufig nur aus jener, aus dieser nicht, erklären.

I. Längsschnittspunkte in der Nähe einer Muskelwunde mit verklebten Lippen, oder der Stelle, wo zwei Muskeln mit künstlichen Querschnitten aneinander gefügt sind, verhalten sich negativ gegen andere Längsschnittspunkte. Nach der Molecularhypothese müssten die Wirkungen der beiden Querschnitte, bei völliger Gleichheit dieser, einander aufheben. Das Ausbleiben dieses Erfolges erklärt Hr. Hermann selber dadurch, dass keine vollkommene Zusammenfügung der Querschnitte möglich sei, behauptet dann aber, dass seine Theorie die Erscheinung besser erkläre, insofern sie kein Aufheben der Wirkungen verlange.[1]

Ich kann dies nicht zugeben. Durch das Dasein einer unwirksamen leitenden Schicht am Querschnitt werden die Bedingungen in beiden Theorien im Wesentlichen einerlei, und auch bei völliger Gleichheit der beiden Querschnitte würde nach der Molecularhypothese eine Wirkung übrig bleiben. Ich habe übrigens dergleichen Versuche in der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.'[2] mit senkrecht und mit schräg durchschnittenen Muskeln auf verschiedenen Stufen [633] des Absterbens und mit Thonmodellen von Muskeln bereits vollständig durchgeführt und erörtert. Was etwa damals dunkel blieb, erklärt sich hinreichend aus der Thatsache, die ich erst seitdem ganz würdigen lernte,[3] dass es höchst selten gelingt, zwei Querschnitte von einigermaassen gleicher Negativität anzutreffen; worin für die fehlerfreie Anstellung jener Versuche doch die erste Bedingung liegt. Versuche an Muskelwunden habe ich nicht gemacht, weil ich Störungen durch Neigungsströme bei nicht ganz senkrechtem Schnitt fürchtete.

II. Zwischen das Thonschild und den künstlichen Querschnitt eines andererseits mit dem Aequator aufliegenden Muskels A wird ein zweiter Muskel B so gelagert, dass er sowohl den Querschnitt als das Thonschild

[1] A. a. O. S. 12. 13.
[2] S. oben S. 127. 128.
[3] S. oben S. 194. 195.

mit Längsschnitt berührt. Der Muskelstrom erscheint dabei, wie ich vor Jahren zeigte und neuerdings bestätigt fand,[1] in derselben Richtung und mit nahe derselben elektromotorischen Kraft, wie ohne die Dazwischenkunft von B. Hr. HERMANN behauptet nun, dass bei dieser Anordnung sich „sehr bald eine ausserordentliche Abnahme der Kraft zeige; nehme man aber das angelegte Stück“ — den Muskel B — „wieder ab, so „erreiche der Strom sofort wieder seine ursprüngliche Stärke. Dies Re„sultat“, sagt Hr. HERMANN, „ist auf keine andre Weise zu erklären, als „dadurch, dass das Erstarren am Querschnitt durch gute Bedeckung ver„zögert wird, denn weder eine Vergrösserung des Widerstandes durch das „zwischen Querschnitt und ableitende Vorrichtung gelegte Muskelstück, „noch eine etwaige Gegenwirkung des letzteren kann beschuldigt werden.“

Zunächst ist die Willkür hervorzuheben, womit Hr. HERMANN nach dem jedesmaligen Bedürfniss seiner Theorie verfährt. Bei den Neigungsströmen durch Dehnung lässt er die Wirkung der Luft auf die Kraft augenblicklich eintreten und aufhören (s. oben S. 325). Hier lässt er zwischen Zudecken des Querschnittes oder Aufhören der Luftwirkung, und Schwächung der Kraft, eine beziehungsweise sehr lange Zeit [634] verstreichen; beim Aufdecken des Querschnittes tritt die Verstärkung aber noch sofort ein. Endlich wenn zwei Muskeln mit ihrem Querschnitt zusammengefügt werden, wie oben unter I., wobei doch auch die Luft abgesperrt wird, erklärt er den Einfluss des Zusammenfügens für nur gering, und findet es in der Ordnung, dass der Querschnitt eben so negativ bleibt wie gewöhnlich.[2] Der Widerspruch, in den Hr. HERMANN in diesen drei Fällen mit sich selber geräth, entgeht ihm; auch vergisst er, sich zu fragen, weshalb nicht bei gewöhnlichem Auflegen der Muskeln das Thonschild einen ähnlichen Schutz gegen schädliche Wirkung der Luft gewähre, wie ein Muskel, da doch erfahrungsgemäss der Thon keine schädliche Wirkung übt. Die Gegenprobe, ob ein Muskel, dessen Querschnitt mit dem Längsschnitt eines anderen Muskels zugedeckt wird, länger lebe, als ein nicht zugedeckter, wird nicht angestellt.

Hrn. HERMANN's Versuch, wenn er beweisend sein soll, ist viel schwieriger, als es scheinen mag. Um zu entscheiden, ob Muskeln unter bestimmten Umständen schnellere Abnahme ihrer Kraft zeigen, sind Controlversuche an den gleichnamigen Muskeln der anderen Seite derselben Frösche unerlässlich, und zwar müssen die beiderseitigen Mittel aus einer hinreichenden Anzahl von Messungen verglichen werden. Ob

---

[1] S. oben S. 287. — Eine Abbildung des Versuches findet sich in den „Untersuchungen u. s. w.“ Bd. I. Taf. V. Fig. 50.

[2] A. a. O. S. 13.

der Muskel beim Auflegen auf das Thonschild, statt auf den Muskel B, nach Entfernung des letzteren, wieder stärker wirke, ist schwer auszumachen, weil die Kraft desselben Muskels schon beim wiederholten Auflegen auf möglichst gleiche Art um grosse Bruchtheile schwankt.[1]

Ich habe beim öfteren Wiederholen des HERMANN'schen Versuches nach einer halben Stunde eine Abnahme der Kraft um ein Viertel bis ein Drittel beobachtet, was wohl etwas mehr sein mag, als gewöhnlich,[2] aber doch nicht die Behauptung einer ausserordentlichen Abnahme rechtfertigt. Nichts ist leich- [635] ter, als den Grund für das etwas schnellere Sinken der Kraft unter diesen Umständen anzugeben.

Die erste Thatsache, die mich auf die Säurung des absterbenden Querschnittes führte, war bekanntlich, dass ein künstlicher Querschnitt die parelektronomische Schicht eines mit dem Achillesspiegel dagegen gelehnten Gastroknemius angreift.[3] Dasselbe geschieht im Wesentlichen hier. Der sich säuernde Querschnitt des Muskels A ätzt den Längsschnitt des Muskels B an und stellt darunter schrägen künstlichen Querschnitt her. Dieser verhält sich schwach negativ gegen den Längsschnitt auf der anderen Seite von B. So entsteht quer durch B ein Strom in der umgekehrten Richtung von dem Strom von A, welcher sich von diesem abzieht und A schwächer erscheinen lässt.

Dass dies der Fall ist, zeigt sich, wenn man den Längsschnitt von B, zuerst ehe ihm der Querschnitt von A angelegt wird, und dann nachdem er ihm eine Zeitlang anlag, an der gleichen Stelle mit Thon ableitet; stets hat sich in Folge der Berührung ein mehr oder minder starker Strom in dem angegebenen Sinn entwickelt. Die Berührungsstelle reagirt sauer. Dieselbe Wirkung, wie durch den Querschnitt des frischen Muskels A, nur noch stärker, erfolgt, wenn man dem Längsschnitt von B ein Stück todten oder wärmestarren Froschmuskels oder sauren Rindfleisches anlegt. Leitet man das Stück von Zeit zu Zeit mittels eines jedesmal erneuerten[4] Thonzapfens ab, so kann man die Entstehung des Stromes in der bezeichneten Richtung verfolgen. Hebt man den Querschnitt von A ab von B, setzt ihn der Luft aus und bringt ihn sorgfältig wieder in seine Lage gegen B, so findet man so genau wie möglich die frühere Kraft wieder, an der die Luft also nichts geändert

---

[1] S. oben S. 157. 194. 195. 243.

[2] S. oben S. 230.

[3] S. oben S. 7. — De Fibrae muscularis Reactione etc. p. 8.

[4] Die Kette: Thon | saures Fleisch + saures Fleisch | frischer Längsschnitt + frischer Längsschnitt | Thon, ist unwirksam. Sie kann aber wirksam werden durch das Eindringen der Säure in den Thon, daher die Vorschrift, den Thonzapfen jedesmal zu erneuern. S. oben S. 213. 281.

hat. Es kommt vor, dass die Kraft scheinbar grösser ausfällt als vor [636] dem Abheben; allein dann fährt sie auch nach dem Wiederauflegen zu wachsen fort, und der Grund davon ist, dass die Kraft von B schneller, als die von A sinkt. Legt man B um, so dass dessen querer Strom sich zu dem von A summirt, so erhält man stets Verstärkung u. s. f.

So ist zugleich erklärt, weshalb in Hrn. HERMANN's Versuch die scheinbare Wirkung des Abschliessens der Luft vom Querschnitt längere Zeit in Anspruch nimmt, während die scheinbare Wirkung des Aufdeckens augenblicklich eintritt.

III. Hrn. HERMANN's dritter Versuch hat zum Zweck „nachzu- „weisen, dass man wirklich durch Einleitung einer schnellen Spaltung „(Erstarrung) eine beliebige Stelle des Muskels stark negativ machen „kann. . . . Ein . . Sartorius wird . . . so aufgehängt, dass das untere „Ende[1] einige Linien weit in eine halbprocentige Kochsalzlösung taucht. „Die beiden unpolarisirbaren . . Thonstiefelelectroden werden so angebracht, „dass die eine das obere Ende des Muskels berührt, die andere in die „Kochsalzlösung eintaucht. Der sich zeigende Strom wird . . . compen- „sirt. Jetzt wird die Kochsalzlösung . . . langsam erwärmt. Bei etwa „30° zeigt sich ein sehr schwacher Strom, der im Muskel absteigt (das „eingetauchte Ende wird positiv); . . . Sowie aber die Temperatur der „Lösung sich 40° C. nähert, entsteht ein ausserordentlich starker „Strom, welcher im Muskel aufsteigt, d. h. das eingetauchte Stück wird „stark negativ. Dieser Strom tritt so sicher ein, dass man durch Be- „trachten der Multiplicatornadel sicher den Zeitpunct angeben kann, „wann das Thermometer in der Kochsalzlösung 39—40° anzeigt. Die „Stärke des Stromes (durch Compensation gemessen)[2] ist unvergleichlich „viel grösser als der Strom, den man sonst unter den günstigsten Um- „ständen vom Sartorius erhält, ja sie übertrifft oft die des Muskelstroms „des Gastrocnemius . . . Wenn man die Temperatur über 40° hinaus „steigert, so hat dies keine weitere Steigerung des Stromes zur Folge, „sondern der Strom behält seine Stärke . . . Wenn man [637] nach Ent- „wicklung des Stromes die Lösung wieder abkühlt, so wird der Strom „allerdings wesentlich geschwächt, aber durchaus nicht beseitigt, und auch „so bleibt das eingetauchte Stück stets stärker negativ als das obere „Muskelende, auch wenn dies künstlichen Querschnitt hat.“[3]

---

[1] Oberes und unteres Muskelende, auf- und absteigender Strom sind hier nicht physiologisch, sondern im gewöhnlichen Sinne zu nehmen.

[2] Die elektromotorische Kraft. Vergl. oben S. 323 Anm. 1.

[3] A. a. O. S. 6—9.

Hr. Hermann giebt dem Versuch auch die Gestalt, dass er den Sartorius am Aequator zusammenklappt, ihn die beiden Enden nach oben aufhängt, die Aequatorialgegend in die Lösung taucht, und von dieser und dem oberen Doppelende ableitet. Der beim Erstarren der Aequatorialgegend auftretende Strom sei noch stärker (es liege ihm eine noch höhere Kraft zu Grunde) als beim ersten Versuch.[1]

Bei Anwendung eines todtenstarren Muskels trete der erste schwache Strom, der das eingetauchte Ende als positiv anzeigt, auch ein, und steigere sich stets bis zur Siedhitze. Diesen Strom erklärt daher Hr. Hermann für thermoëlektrisch, und er spielt weiter keine Rolle.[2]

Was den anderen Strom betrifft, so ist zweierlei zu unterscheiden. Dass die Demarcationsfläche (um chirurgisch zu reden) einer wärmestarren gegen eine unversehrte Strecke eines Muskels sich als künstlicher Querschnitt verhalten müsse; dass künstlicher Querschnitt, gleichviel wo er liege, negativ gegen natürlichen Querschnitt, vollends gegen diesem benachbarte Längsschnittspunkte sei; dass also unter den angegebenen Umständen ein Strom in der beobachteten Richtung zu erwarten war, sieht Hr. Hermann selber ein, und es ist nur nicht zu verstehen, weshalb er dann eine so einfache Sache so stark betont, als ob darin etwas Neues und Ueberraschendes läge. Allein Hr. Hermann behauptet zugleich, und kommt immer wieder darauf zurück, dass jenem Strom eine ganz ausserordentliche Kraft zu Grunde liege; diese Kraft sei „unvergleich-„lich grösser als die, welche man sonst unter den günstig-„sten Umständen am Sartorius beobachte, ja sie übertreffe die „des Gastroknemius" (s. oben); [638] „die Negativität werde plötzlich „enorm stark bei 40°"[3]; „die eingetauchte Strecke werde unter allen „Umständen sehr viel stärker negativ als jede andere Muskel-„stelle, selbst ein künstlicher Querschnitt"[4], u. s. f., und er findet hierin sowohl eine Bestätigung seiner Ansichten, insofern er die von mir sogenannte säuernde Temperatur[5] für einen der mächtigsten unter den spaltungsbeschleunigenden Einflüssen hält, als eine Schwierigkeit für meine Vorstellung. In der That würde es mit der Annahme im Muskel vorherbestehender Stromkräfte schlecht reimen, wenn die Tödtung einer Muskelstrecke durch die Wärme ein Mittel abgäbe, einen sehr viel negativeren Qutrschnitt zu erzeugen, als die Durchschneidung; einen Quer-

---

[1] A. a. O. S. 7.
[2] A. a. O. S. 9.
[3] A. a. O. S. 10.
[4] A. a. O. S. 10. 29.
[5] S. oben S. 20.

schnitt, dessen elektrischer Gegensatz zum natürlichen Querschnitt oder zu diesem nahen Längsschnittspunkten sogar den grössten bisher in diesem Gebiete bekannten Spannungsunterschied, den zwischen Achilles- und Hauptsehne des Gastroknemius, überträfe. Doch fragt man vergebens, ob und wie die Parelektronomie des Gastroknemius aufgehoben war, der hier zum Vergleich diente. Obschon Hr. Hermann die Mittel dazu besass, führt er keine Messung an, welche einen Anhalt zur Beurtheilung seiner Angaben gewährte. Er scheint auch nicht gewusst zu haben, dass ein Querschnitt aus der mittleren Gegend der regelmässigen Muskeln fast stets negativ gefunden wird gegen einen Querschnitt in der Nähe eines der sehnigen Enden,[1] so dass es in der Ordnung war, wenn die durch Wärmestarre erzeugten Querschnitte der Aequatorialgegend sich stärker negativ verhielten, als dem Ende nahe mechanisch angelegte Querschnitte.

Ich habe Hrn. Hermann's Versuch mit den vorzüglichsten Hülfsmitteln und der grössten Sorgfalt wiederholt. In ein Loch in einem viereckigen Brette von 31·5 cm Seite wurde eine Abrauchschaale mit Glaserkitt luftdicht eingesetzt. Die Schaale enthielt die verdünnte Kochsalzlösung; eine mittels eines Kautschukringes in eine Klemmpinzette umgewandelte Pinzette mit [639] Knochenspitzen trug den Muskel; dicht neben dem Muskel, doch entfernt genug davon, um ihn nicht durch Capillarität anzuziehen, tauchte der Behälter eines frisch verglichenen Thermometers ein; die Thonspitze einer unpolarisirbaren Zuleitungsröhre berührte den Muskel in passender Entfernung von der Lösung und vom sehnigen Ende. Die Ableitung von der Lösung geschah meist durch ein mit derselben Lösung gefülltes weites Heberrohr, dessen Mündungen in der Lösung aufgeweichte Blase verschloss, und dessen anderes Ende zusammen mit einer verquickten Zinkplatte in Zinklösung tauchte; andere Male durch die mit Fliesspapier umhüllte Thonspitze einer Zuleitungsröhre. Die Abrauchschaale war mit einer Glasplatte bedeckt, in der sich nur die nöthigen Oeffnungen befanden, so dass die Elektroden nicht bloss durch das Brett vor den heissen Gasen der Flamme, sondern auch durch die Glasplatte vor den Dämpfen der Lösung geschützt waren. Die Vorrichtung befand sich im Messkreise des runden Compensators, dessen Graduationsconstante $\left(\frac{D}{8000}\right)$[2] kürzlich revidirt und unverändert gefunden worden war.

Beim Schliessen des Kreises, ehe die Lösung erwärmt wurde, zeigte sich darin stets schon eine elektromotorische Kraft, als Resultante der von

1 S. oben S. 166.

2 S. oben S. 241.

dem Muskel und der von der Vorrichtung selber ausgehenden, welche letztere hier wegen der Asymmetrie der Ableitung nicht zum Verschwinden zu bringen ist. Die Resultante hatte nicht jedesmal die der Regel nach zu erwartende und von Hrn. HERMANN, wie es scheint, stets beobachtete Richtung, wodurch der natürliche Querschnitt als negativ angezeigt wird. Alsdann waren wohl die Muskeln stärker parelektronomisch, so dass der Muskelstrom von dem ihm zufällig entgegenwirkenden Strome der Vorrichtung überwogen wurde, oder das sehnige Ende verhielt sich positiv, statt negativ, gegen den Querschnitt, was der untere Zipfel des Sartorius nicht selten thut.[1] Nach Compensation dieser elektromotorischen Kraft wurde die Lösung erwärmt. Während der Erwärmung entstand oft, aber nicht immer, eine Kraft in dem von Hrn. HERMANN angegebe- [640] nen Sinne, d. h. die eingetauchte Strecke wurde stärker positiv oder minder negativ gegen das aufgehängte sehnige Ende. Ohne läugnen zu wollen, dass dabei ein Hydrothermostrom im Spiele sei, muss ich bemerken, dass, vorzüglich bei geringer Parelektronomie, ein Theil dieser Wirkung auf Rechnung sinkender Parelektronomie des sehnigen Endes kommt.[2] Auch sie wurde compensirt, und wenn der Muskel die säuernde Temperatur erreichte, sah man die Theilung vom Nullpunkt aus sich nach der anderen Richtung in Bewegung setzen. Dies geschah in meinen Versuchen stets erst bei 43° C.; bis zu 45° C. blieb die Wirkung auf eine Spur beschränkt, und erst bei 45° C. fing das stetige, anfangs beschleunigte, später verzögerte Wandern des Bildes an, welches der sich entwickelnden Negativität der Demarcationsfläche entsprach. Dies war der Gang der Erscheinungen, gleichviel welche Stellung ich der Thermometerkugel neben dem Muskel ertheilte, und, soweit meine Beobachtungen reichen, gleichviel ob ich schneller oder langsamer heizte.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebniss der zehn Versuche, die ich so anstellte. Als positiv ist die Richtung angenommen, in welcher der Muskel zuletzt, vermöge der Negativität der Demarcationsfläche, wirkt. Spalte $\alpha$ enthält die Compensatorstände, von denen aus die Wirkung des Erstarrens zu rechnen war, Spalte $\beta$ die dieser Wirkung entsprechenden höchsten Compensatorstände. Spalte $\gamma$ ist durch algebraische Subtraction der Zahlen der ersten von denen der zweiten gebildet, $\gamma = \beta - (\pm\alpha)$. Vernachlässigen wir, wie wir nicht anders können, die nicht zu beseitigenden und nicht in Rechnung zu ziehenden thermoëlektrischen und sonstigen Spannungsunterschiede in der Vorrichtung, so messen also die

[1] S. den Tabellenbogen No. II. zur Abhandlung: „Ueber das Gesetz des Muskelstromes u. s. w.“ Tab. IV. V.

[2] S. oben S. 225.

Zahlen $\gamma$ die Negativität der Demarcationsfläche gegen den abgeleiteten Längsschnittspunkt. Die Spalte $\frac{\gamma}{8000}$ endlich zeigt, durch Multiplication mit der Graduationsconstanten $= \frac{D}{8000}$ erhalten, die den Zahlen $\gamma$ entsprechenden absoluten Werthe, für die Kraft der Daniell'schen Kette = 1. Ein Sternchen bei der [641] Ordnungszahl der Versuche bedeutet, dass dem Sartorius Zeit für die postmortale Erhöhung der Kraft geblieben war.[1]

| No. | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | $\frac{\gamma}{8000}$ | Es tauchen ein |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | + 46 | +299 | +253 | 0·032 | das obere Ende |
| 2 | — 71 | +216 | +287 | 0·036 | desgl. |
| 3* | + 68 | +424 | +356 | 0·044 | desgl. |
| 4* | + 65 | +432 | +367 | 0·046 | das untere Ende |
| 5* | — 57 | +302 | +359 | 0·045 | desgl. |
| 6 | — 49 | +332 | +381 | 0·048 | desgl. |
| 7 | + 65 | +229 | +164 | 0·021 | der Aequator |
| 8* | + 36 | +353 | +317 | 0·040 | desgl. |
| 9 | —108 | — 1 | +107 | 0·013 | desgl. |
| 10* | —130 | + 72 | +202 | 0·025 | desgl. |
| | | Mittel: | +279·3 | 0·0350 | |

Es fragt sich nun, ob die Werthe $\frac{\gamma}{8000}$, wie Hr. Hermann behauptet, ausserordentlich hohe Werthe für die Muskelstromkraft seien: unvergleichlich höhere, als sonst am Sartorius vorkommen; höhere sogar, als am Gastroknemius. Wir sind glücklicherweise in der Lage, dies leicht entscheiden zu können.

Was den Gastroknemius betrifft, so kann freilich seine Kraft kleiner gefunden werden, als jede andere, und also auch als die kleinste in der Tabelle, da er sie durch Parelektronomie völlig einbüsst. Nach Zerstörung der parelektronomischen Schicht aber fand ich im Mittel aus 12 Versuchen die Kraft des Gastroknemius = 0·114, über $3^1/_4$ mal grösser als obige Mittelzahl; und darunter zweimal = 0·141, fast 3 mal grösser als die grösste obige Kraft.[2]

[1] S. oben S. 206.

[2] S. oben S. 247.

Für die Kraft des durch zwei künstliche Querschnitte begrenzten, einerseits mit deren einem, andererseits mit dem Aequator auf die Thonschilder aufgelegten Sartorius enthält die Ab- [642] handlung 'Ueber die Erscheinungsweise u. s. w.' (s. oben S. 219) einen Mittelwerth, der hier zur Vergleichung dienen kann. Die Sartorii der einen Seite von 14 Fröschen, gleich nach der Zurichtung geprüft, gaben im Mittel der 28 Zahlen für die obere und untere künstliche Stromkraft 275·6 Compensatorgrade (Graduationsconstante die nämliche wie jetzt). Das Mittel aus den 28 entsprechenden Zahlen für die Muskeln der anderen Seite, denen Zeit zur postmortalen Krafterhöhung blieb, betrug 294·5. Das Mittel sämmtlicher 56 Messungen ist mithin 285·0; wobei zu bemerken ist, dass diese Versuche zu einem ganz anderen Zweck, als um einen guten Mittelwerth für die Kraft der Muskeln zu erhalten, an elenden Winterfröschen angestellt wurden, die Zahlen also zu niedrig sind.

Dennoch sieht man, dass der Mittelwerth unserer Tabelle jenen zu kleinen Mittelwerth noch nicht einmal erreicht. Für mich, der ich im täglichen Umgang mit diesen Erscheinungen lebe, bedurfte es dieses umständlichen Beweises nicht. Die in Hrn. Hermann's Versuch von uns erhaltenen Werthe sind ganz gewöhnliche; den grössten darunter gleiche und sie übertreffende finden sich auf jeder Seite meiner Versuchsprotocolle. Der höchste Kraftwerth, den ich am Sartorius ohne postmortale Erhöhung je beobachtete, betrug beiläufig $474^{cgr} = 0·059$, der höchste mit postmortaler Erhöhung $556^{cgr} = 0·069$. Die entsprechenden höchsten Werthe der Tabelle sind 381 = 0·048 und 367 = 0·046, und verhalten sich zu jenen wie 1·00 : 1·24; 1·00 : 1·52.

Hrn. Hermann's Behauptung, dass die Demarcationsfläche der wärmestarren Muskelstrecke sich negativer verhalte, als ein mechanischer Querschnitt, ist also falsch. Welchen Fehler er begangen hat, bin ich ausser Stande zu errathen. Seine Worte: „Wenn man nach Entwicklung des Stromes die Lösung wieder „abkühlt, so wird der Strom allerdings wesentlich geschwächt" (s. oben S. 351) — enthalten einen weiteren Irrthum, insofern sie die Vorstellung erwecken, als trage die Wärme zur Erhöhung der Kraft bei, etwa weil die säuernde Temperatur im Muskel vordringt, und dieser nach dem abgeleiteten Längsschnittspunkte zu besonders schnell abstirbt. Dies ist nicht der Fall, sondern [643] nachdem die Kraft den Gipfel erstieg, sinkt sie wie sonst stetig herab, gleichviel ob man die Lösung sich langsam abkühlen lässt, oder sie rasch durch kalte ersetzt, und diese dann wieder bis zur säuernden Temperatur erwärmt. Man kann also Hrn. Hermann's Versuch mit ganz gleichbedeutendem Erfolg auch so wiederholen, dass man einfach den Muskel mit dem einen Ende in erwärmte Koch-

salzlösung taucht, und ihn abgetrocknet mit dem erstarrten Ende auf das eine, mit dem Längsschnitt auf das andere Thonschild bringt. Die Demarcationsfläche verhält sich als künstlicher Querschnitt, und indem man sie durch einen mechanischen Querschnitt ersetzt, überzeugt man sich unmittelbar, dass ihr keine besondere Negativität innewohnt.

Hr. Hermann hat seinen Versuch auch dahin abgeändert, dass er, anstatt die Lösung zu erwärmen, ihr Säure oder Alkali zusetzt, und so die eingetauchte Strecke ihrer Leistungsfähigkeit beraubt. Er giebt an, dass dabei der Strom nie so stark (die Kraft nie so gross) werde, wie bei der Erwärmung, und „vermag dies nach der Moleculartheorie nicht zu „erklären, denn die Zerstörung der eingetauchten Strecke ist in beiden „Versuchsweisen schliesslich gleich vollkommen.“[1] Ich halte es erstens für sehr schwer, den von Hrn. Hermann behaupteten Unterschied wirklich nachzuweisen. Zweitens für nicht minder schwer, den Antheil auszuscheiden, der dabei den thermoëlektrischen und Flüssigkeits-Ketten zukommt, welche im Kreise thätig sind. Drittens für sehr leicht, wenn einmal jener Unterschied feststände, einen Grund dafür anzugeben. Es wäre der, dass unstreitig bei der Erwärmung die eingetauchte Strecke schneller abstirbt, als wenn die Kochsalzlösung sehr schwach angesäuert oder alkalisch gemacht wird, wie es in Hrn. Hermann's Versuchen geschah. In der Zeit, welche Säure oder Alkali brauchen, um den Muskel völlig zu durchdringen und zu tödten, verliert auch dessen nicht eingetauchter Theil durch Oberflächenzehrung an Kraft. Niemand wird ja wohl bezweifeln, dass man beim Tödten der eingetauchten Strecke mit concentrirter Chlorwasserstoffsäure höhere Negativität der Demarcationsfläche erzielen würde, als durch halbprocentige [644] Kochsalzlösung, die man so langsam erwärmte, dass sie erst nach mehreren Tagen die säuernde Temperatur erreichte.

## §. XIII. Schlussbemerkungen.

Die Hermann'sche Hypothese über den Ursprung der Muskel- und Nervenstromkraft aus den mit dem Absterben des künstlichen Querschnittes verbundenen chemischen Vorgängen ist theoretisch nicht gerechtfertigt; es fehlt ihr an Klarheit, Bestimmtheit und Folgerichtigkeit; sie ist ohne thatsächliche Analogie, mit Ausnahme eines einzigen, sehr unsicheren Versuches. Sie erklärt wenig mehr, als die Thatsachen, zu deren Erklärung sie erfunden wurde; zur Erklärung anderer, eben so

[1] A. a. O. S. 12.

wichtiger Thatsachen muss sie sogleich zu Kreisschlüssen und Hülfshypothesen *ad hoc* greifen, die theils erwiesen falsch, theils theoretisch ungerechtfertigt, theils wenigstens thatsächlich noch nicht begründet sind. Mehrere Thatsachen, die sie nicht zu erklären vermag, hat Hr. HERMANN nicht erwähnt; andere hat er zu erklären geglaubt, sie haben ihm aber unrichtig vorgeschwebt, so dass seine Erklärung nicht passt. In der Kette von Schlüssen, wodurch er seinen schwanken Hypothesenbau an das Princip der Erhaltung der Kraft knüpfen möchte, ist ein Glied fehlerhaft. Die von ihm beschriebenen Versuche endlich, die nur durch seine Theorie erklärbar sein sollen, sind theils anders zu deuten, theils falsch. Danach werden allerdings Hrn. HERMANN nur solche folgen, die, wie er selber sagt, „auch auf weniger sicherem Boden fortzuschreiten „lieben,“ [1] nicht aber die, für welche das Wort geschrieben steht: „*Hypotheses non fingo.*“

Die Frage, ob nicht die Negativität des künstlichen Querschnittes erst durch den Schnitt, und die gesteigerte Negativität des natürlichen Querschnittes beim Anätzen erst durch dieses entstehe, habe ich mir im Laufe meiner Untersuchungen, wie Hrn. HERMANN nicht entgangen ist,[2] selber vorgelegt, und sie ist auch von Hrn. POUILLET, als Berichterstatter der zur Prüfung meiner Versuche ernannten Commission der Pariser Akademie, [645] aufgeworfen worden.[3] Trotz gewissen Umständen, die mich an diese Möglichkeit denken liessen, ging ich aber nicht weiter darauf ein, weil ich erstens keine physikalische Analogie dafür kannte, dass eine Stromkraft so entstehe, und weil ich zweitens mit jener Annahme eine Menge anderer Erscheinungen, wie die Ströme der unversehrten Muskeln, der nicht enthäuteten Gliedmaassen, des lebenden unversehrten Frosches, die Elektrotonusströme, nicht zu vereinigen wusste. Hr. HERMANN hat sich durch den Glauben, dass es ihm gelungen sei, das erste dieser Bedenken zu heben, dazu verleiten lassen, sich über das zweite mit allen Mitteln hinwegzusetzen. Da auch die vortrefflichste Hypothese erst dann für wahr gelten kann, wenn alle anderen bei dem jedesmaligen Wissensstande denkbaren Annahmen als unmöglich erkannt sind, so ist Hrn. HERMANN dafür zu danken, dass er durch sein Wagniss ein Maass dessen geliefert hat, was die Hypothese der Nicht-Präexistenz des elektrischen Gegensatzes in den Muskeln und Nerven bestenfalls vermag.

---

[1] A. a. O. S. 67.

[2] A. a. O. S. 3.

[3] Comptes rendus etc. 1850. t. XXXI. p. 44. — Vergl. die Fortschritte der Physik im Jahre 1850 und 1851 u. s. w. Berlin 1855. S. 759.

Dies nämlich ist der Punkt, um den es sich hier wesentlich handelt. Ich habe zwar vorher die Molecularhypothese gegen die wider sie gerichteten Angriffe vertheidigt, da ich weder Lust habe, sie für schlechter als nöthig ausgeben, noch Hrn. Helmholtz und mir einen Denkfehler aufbürden zu lassen, den nicht wir begingen. Auch suche ich jede neue elektromotorische Erscheinung am Muskel und Nerven mit jener Hypothese in Einklang zu bringen, und man wird es natürlich finden, dass ich einigen Werth darauf legte, dies in einem so ausgezeichneten Falle, wie dem der Neigungsströme, leicht gelingen zu sehen. Ich kenne keine andere Vorstellungsweise, die von den hier in Betracht kommenden Erscheinungen soviel erklärte, und zugleich für die allgemeine Physik der Muskeln und Nerven soviel verspräche; denn kennte ich eine solche, so wäre ich der erste, die Molecularhypothese fallen zu lassen. Bei alledem bin ich weit davon entfernt, das Dasein der elektromotorischen Molekeln für so erwiesen zu halten, wie es [646] in manchen Lehrbüchern hingestellt wird. Es ist hier nicht der Ort, meine Bedenken gegen die Molecularhypothese darzulegen, doch könnte ich wohl auf Hrn. Hermann's Angriff seine eigenen Worte anwenden: „Charakteristisch ist „es, dass gerade diese Punkte von den bisherigen Angreifern der Theorie „übersehen, dafür aber Einwände erhoben worden sind, deren siegreiche „Widerlegung die Theorie nur neu befestigen konnte.“ [1] Ich wünsche jetzt nur bemerklich zu machen, dass, wenn oben stets die Molecularhypothese der des Hrn. Hermann als die sonst einzig denkbare entgegengesetzt wurde, dies nicht meine Auffassung war, sondern die seinige. Die Molecularhypothese könnte ganz oder zum Theil falsch sein, es könnte z. B. Hrn. Hermann's Vermuthung gemäss, [2] der meinigen zuwider, die intrapolare Strecke dem erregenden Strom entgegen elektromotorisch wirken, so wäre für seine Hypothese dadurch noch nichts gewonnen.

Denn was ich schon für besser erwiesen halte, als die Molecularhypothese, für so gewiss, dass ich dem Beweise des Gegentheils gegenüber das Gefühl nicht abläugnen könnte, in einer Täuschung befangen gewesen zu sein, das ist die Präexistenz des elektrischen Gegensatzes in den Muskeln und Nerven. Hieran ist aber mein Glaube durch den gegenwärtigen Angriff, wie gesagt, eher befestigt als erschüttert, und insbesondere die oben S. 341 angestellte Betrachtung über die Querschnittsströme würde mir auch dann noch überzeugend erscheinen, wenn sich Hrn. Hermann's Hoffnung erfüllte, gerinnendes Muskelplasma gegen noch flüssiges, oder schneller erstarrenden aufgethauten Muskelschnee gegen

---

[1] A. a. O. S. 66.
[2] A. a. O. S. 41.

langsamer erstarrenden negativ zu finden.[1] Ich würde auch dann noch bis auf Weiteres behaupten müssen, dass diese Wirkung sich unter Umständen zum Muskelstrom hinzufügen mag, wie ich dies neulich von den Flüssigkeitsketten-Strömen durch verschiedene Reaction des Längs- und Querschnittes nachwies,[2] dass sie aber der Muskelstrom selber nicht sei.

---

[647] **Anhang.**

## Ueber die elektromotorische Unwirksamkeit der Zersetzung von Wasserstoffsuperoxyd durch Fibrin.

[Vorgelegt in der Gesammtsitzung der Akademie am 28. November 1867.]

Das Wasserstoffsuperoxyd, womit ich experimentirte, hatte Hr. Hofmann die Güte gehabt, in seinem Laboratorium darstellen zu lassen. Die Flüssigkeit enthielt Schwefelsäure. Vor dem Versuch wurde kohlensaurer Baryt bis zur neutralen Reaction eingetragen, und filtrirt. Das Filtrat war eine ziemlich concentrirte Lösung von Wasserstoffsuperoxyd, welche etwas sauren kohlensauren Baryt enthielt. Ich stellte mir daher, zu einem Zwecke, der gleich einleuchten wird, durch Sättigen mit Schwefelsäure gesäuerten Wassers mittels kohlensauren Baryts, eine bis auf den Gehalt an Wasserstoffsuperoxyd jener vollkommen gleiche Flüssigkeit dar, die im Folgenden die Controlflüssigkeit heisst.

Eine Flocke durch Schlagen erhaltenen, bis zur Farblosigkeit ausgewaschenen, noch schwach alkalisch reagirenden Blutfaserstoffes vom Rinde, in die Wasserstoffsuperoxydlösung getaucht, bedeckte sich sogleich mit Gasbläschen, die häufig aufsteigend die Oberfläche der Flüssigkeit bald mit einem Schaumkranz umgaben. Eine Flocke desselben Faserstoffes dagegen, welche kurze Zeit in siedendes Wasser gehalten worden war, verhielt sich völlig unwirksam, wie Hr. Scherer gefunden hat.[3] Auf diesen Umstand gründete ich mein Versuchsverfahren.

---

[1] A. a. O. S. 65. Anm.

[2] S. oben S. 283.

[3] Liebig's und Wöhler's Annalen der Chemie und Pharmacie. 1841. Bd. XL. S. 15.

Mittels zweier Klemmpinzetten mit Knochenspitzen (vergl. oben S. 353) hing ich in ein Glas mit Wasserstoffsuperoxydlösung einerseits eine rohe und wirksame, andererseits eine gesottene und unwirksame Faserstoffflocke. Oberhalb der Flüssigkeit berührte ich die Flocken mit Thonzapfen, die den Thonschildern der gewöhnlichen Zuleitungsgefässe angeknetet waren. Die Gefässe befanden sich nebst der durch Haüy'sche Compensation [648] astatisch gemachten Bussole im Messkreise des runden Compensators.

Ich rechnete einigermaassen darauf, dass die rohe mit der gekochten Flocke sich gleichartig verhalten, und dass also, falls nicht die Fermentwirkung wirklich elektromotorisch wirkte, kein Strom entstehen würde. Als daher bei der obigen Anordnung ein schwacher Strom in dem durch die Hermann'sche Hypothese geforderten Sinne entstand, d. h. die rohe Flocke sich negativ gegen die gekochte zeigte, konnte es scheinen, als behielte diesmal jene Hypothese Recht.

Ich hatte indess diese Möglichkeit vorhergesehen, und für sie die Controlflüssigkeit in Bereitschaft. In Versuchen, die sich von den vorigen nur dadurch unterschieden, dass die Controlflüssigkeit die Wasserstoffsuperoxydlösung ersetzte, blieb der Erfolg der Richtung nach derselbe; folgende Tabelle aber zeigt die Kräfte in fünf Versuchen mit jeder Flüssigkeit, für deren jeden Flüssigkeit und Flocken erneuert wurden, einen Daniell = 1 gesetzt.

| No. | $HO_2$ | Control-Flüssigkeit |
|---|---|---|
| 1 | 0·0011 | 0·0003 |
| 2 | 0·0007 | 0·0021 |
| 3 | 0·0024 | 0·0002 |
| 4 | 0·0017 | 0·0008 |
| 5 | 0·0016 | 0·0038 |
| Mittel | 0·00150 | 0·00144 |

Das Mittel ist beiläufig etwa 15 Mal kleiner als die Nervenstromkraft.

Wie man sieht, ist das Verhalten in den beiden Flüssigkeiten so genau wie möglich dasselbe. Niemand wird danach zweifeln, dass man es auch im Fall der Wasserstoffsuperoxydlösung einfach mit einer Flüssigkeitskette zu thun habe, zu deren Kraft die Fermentwirkung nichts Merkliches beiträgt. Es scheint zwar die Wirkung mit der Wasserstoff-

superoxydlösung die mit der [649] Controlflüssigkeit um eine äusserst kleine Grösse zu übertreffen; allein erstens bedürfte es viel zahlreicherer Versuche, um das Dasein eines so geringen Unterschiedes festzustellen, zweitens beweist nichts, dass der Unterschied von der Fermentwirkung herrühre, und dass nicht die Kraft der Flüssigkeitskette im einen Falle grösser sei als im anderen.

Man könnte einwenden, der gesottene Faserstoff habe doch vielleicht noch, wenn auch nicht sichtbar, zersetzend gewirkt, und dies dadurch bestätigt finden wollen, dass ich erhielt:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Thon | rohes Fibrin + rohes Fibrin | $HO_2 + HO_2$ | Thon | = 0·0067.[1] |

Allein ich fand auch:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Thon | gesott. Fibrin + gesott. Fibrin | $HO_2 + HO_2$ | Thon | = 0·0130, |
| Thon | rohes Fibrin + rohes Fibrin | Contr.-Flüss. + Contr.-Flüss. | Thon | = 0·0080, |
| Thon | gesott. Fibrin + gesott. Fibrin | Contr.-Flüss. + Contr.-Flüss. | Thon | = 0·0047, |

wodurch jene Deutung vereitelt wird.

Die Schwankungen der Kraft bei einer und derselben Flüssigkeit zeigen, dass hier Umstände mitspielen, welche sich unserer Aufsicht entziehen, und doch elektromotorisch viel bedeutender sind, als es die Fermentwirkung nach diesen Versuchen sein kann. Dasselbe geht daraus hervor, dass man mit zwei rohen oder gekochten Fibrinflocken in Wasserstoffsuperoxydlösung oder Controlflüssigkeit Wirkungen von gleicher Ordnung mit jenen Schwankungen, bald im einen, bald im anderen Sinn erhält.

So fand ich auch:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Thon | rohes Fibrin + rohes Fibrin | gesott. Fibrin + gesott. Fibrin | Thon | = + 0·0058; — 0·0042. |

In einem Falle gelang es mir, die Ursache dieser Schwankungen zu ergründen. Als ich nämlich bei der ursprünglichen Gestalt des Versuches die Wasserstoffsuperoxydlösung oder die Controlflüssigkeit durch destillirtes Wasser ersetzte, erhielt ich [650] auch bald grosse, bald kleine Kräfte, bald im einen, bald im anderen Sinne. Ich kam auf die

---

[1] Ueber die hier gebrauchte Zeichensprache vergl. oben S. 265.

Vermuthung, dass der verschiedene Wassergehalt der Flocken hier von Einfluss sei, und der Versuch zeigte, dass, gleichviel ob die eine Flocke roh, die andere gesotten, oder ob beide roh oder gesotten waren, das Auspressen der einen Flocke zwischen Fliesspapier genügte, um diese positiv gegen die andere zu machen. Die so erlangte Kraft belief sich einmal auf 0·0160 D, d. h. sie übertraf alle obigen Kräfte und erreichte beinahe die eines schwächeren Nerven oder M. cutaneus femoris. Mit Controlflüssigkeit statt destillirten Wassers gab dieser Versuch keinen regelmässigen Erfolg.

---

XXIV.

# Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen auf den Strom des M. gastroknemius des Frosches.[1]

## §. I. Einleitung.

In der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes, mit besonderer Berücksichtigung des M. gastroknemius des Frosches'[2] verglich ich den Gastroknemius einem natürlichen Muskelrhombus. Der untere schräge Querschnitt des Rhombus ist der Achillesspiegel. Der obere schräge Querschnitt, den ich Kniespiegel nenne, ist in seiner Längsmittellinie zusammengeknickt, so dass symmetrische Punkte seiner beiden Hälften aufeinandertreffen; die beiden Hälften sind mit einander verwachsen, und der Kniespiegel ist so gleichsam in der Muskelmasse vergraben.

Wie ich gleichfalls damals zeigte, entspricht jedoch die Vertheilung der elektrischen Spannung an der Oberfläche des Gastroknemius nicht der, die man nach dem anatomischen Befund auf den ersten Blick erwarten sollte. Vielmehr lässt sich diese Vertheilung bereits ganz befriedigend ableiten aus dem Gegensatz zwischen Längsschnitt und schrägem natürlichen Querschnitt, verbunden mit der aufsteigenden säulenartigen Thätigkeit einer unter dem Achillesspiegel vorhandenen elektromotorischen Grenzschicht. In der Abhandlung 'Neue Versuche über den Einfluss gewaltsamer Formver- [562] änderungen der Muskeln auf deren elektromotorische Kraft'[3] lehrte ich übrigens den Achillesspiegel mit den daran haftenden elektromotorischen Grenzschichten in Gestalt eines nach Art einer Säule absteigend wirksamen Bandes präpariren.

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u s. w. 1871. S. 561.

[2] S. oben S. 127.

[3] S. oben S. 307.

Es blieb also die Frage zu beantworten, was die elektromotorische Thätigkeit des Kniespiegels hervorzutreten verhindere. In Folge dieser Thätigkeit müsste, bei gleicher Wirksamkeit und Länge beider Spiegel, die Hauptsehne des Muskels, als obere spitze Rhombusecke, eben so negativ sich verhalten wie die Achillessehne; der obere Rand des Achillesspiegels, das untere Ende des Sehnenstreifes an der Tibialfläche, müssten als stumpfe Rhombusecken die positivsten Punkte der Muskeloberfläche sein. Ueberträfe der Kniespiegel den Achillesspiegel an Wirksamkeit, so müsste zwischen Haupt- und Achillessehne der Strom absteigen u. s. w. Die Richtigkeit letzteren Schlusses bewies ich, indem ich den Kniespiegel mehr oder minder vollständig in künstlichen Querschnitt verwandelte, wozu ich zwei Methoden angab.

Die eine bestand darin, den Muskel von der Tibialfläche her längs der sehnigen Scheidewand aufzuschlitzen. So gelingt es, den Gastroknemius etwa halb so stark absteigend wirksam zu machen, wie er durch Aetzen des Achillesspiegels mit Kreosot aufsteigend wirksam wird. Die absteigende Kraft wächst eine Zeit lang, unstreitig weil die auf der Scheidewand stehen gebliebenen Stoppeln der durchschnittenen Bündel, die einen aufsteigenden Neigungsstrom erzeugen, allmählich absterben.[1] Die zweite Methode, welche zuweilen fehlschlägt, bestand darin, den Muskel der Länge nach so weit zu dehnen, dass seine Bündel zu reissen anfangen. Aus unbekanntem Grunde geschieht dies an der Ansatzstelle der Bündel an die sehnige Scheidewand. Die Bündel erleiden hier eine tödtliche Zerrung, und so wird gleichsam subcutan ein mechanischer künstlicher Querschnitt längs der Scheidewand hergestellt.[2] Eine so starke Dehnung [563] des Muskels nenne ich beiläufig Ueberdehnung, den so behandelten Muskel einen überdehnten.

Auch chemisch lässt sich drittens, wie ich seitdem fand, der Kniespiegel theilweise in künstlichen Querschnitt verwandeln. Es genügt, mit der Spitze eines in Kreosot oder verdünnte Milchsäure getauchten Pinsels längs dem Sehnenstreif an der Tibialfläche[3] einen Strich zu führen, um sogleich die positive Wirksamkeit des Muskels zwischen Haupt- und Achillessehne sinken, bei höherer Parelektronomie des Achillesspiegels häufig den Muskel negativ wirksam werden zu sehen. Wird der Strich in der Mitte zwischen Sehnenstreif und Rand des Achillesspiegels geführt, so erhält man nur schwache, bald negative, bald positive Wirkung, welche auf dem Unterschied der Neigungsströme vom inneren und vom äusseren

---

[1] S. oben S. 135.

[2] S. oben S. 314—316.

[3] S. oben S. 70 Taf. I. Fig. 4. $\Gamma'\varrho\Gamma_{,}$.

Rande des Striches aus beruhen mag. Trifft der Strich den Rand des Achillesspiegels selber, so ist die Wirkung wieder stärker, und zwar positiv. Wie kaum gesagt zu werden braucht, erstreckt sich die Wirkung des Pinselstriches nur in geringe Tiefe. Bei weitem nicht die ganze Fläche der sehnigen Scheidewand wird davon erreicht, sondern die absteigende Kraft geht von den Enden der oberflächlichen Bündel in und zunächst unter der Tibialfläche aus. Nebenher lehren diese Versuche, dass, wenn man die volle Wirkung des Achillesspiegels nach aufgehobener Parelektronomie zu erhalten wünscht, man nicht den Muskel in die ätzende Flüssigkeit tauchen muss, da das Bad auch auf den Kniespiegelstrom entwickelnd wirkt.

Je schlagender diese Erfolge sind, und je sicherer sie, den des Ueberdehnens ausgenommen, von der Theorie vorhergesagt waren, um so mehr fordern sie zur Erklärung des Umstandes heraus, dass für gewöhnlich die Wirkung des Kniespiegels sich nicht geltend macht. Elektromotorische Unwirksamkeit, ja negative Wirkung des Gastroknemius kommt zwar häufig vor. Wir haben aber bisher diese Erscheinung stets allein auf höhere Parelektronomie des Achillesspiegels gedeutet.

In der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskel- [564] stromes u. s. w.' wurden für die geringe Wirksamkeit des Kniespiegels zwei Gründe angeführt. Ein Blick auf die Tibialfläche des Gastroknemius lehrt, dass die Bündel, je mehr nach oben, unter um so weniger spitzen Winkeln an die sehnige Scheidewand stossen, so dass sie schliesslich einander fast gerade begegnen.[1] Dadurch muss bei gleicher Negativität die Neigungsstromspannung des Kniespiegels erheblich kleiner als die des Achillesspiegels ausfallen. Da aber dieser Grund mir nicht ausreichend schien, nahm ich zweitens an, dass der Kniespiegel stets auf verhältnissmässig hoher Stufe der Parelektronomie verharre.[2] Indem ich den Gastroknemius der Länge nach zerriss, gelang es mir wirklich in mehreren Fällen hohe Parelektronomie des Kniespiegels nachzuweisen. Inzwischen war theoretisch nicht abzusehen, weshalb der Kniespiegel mehr als der Achillesspiegel parelektronomisch sein sollte, so lange nicht der Muskel schädlichen Einflüssen unterliegt, denen freilich der Kniespiegel mehr als der Achillesspiegel entzogen ist.

Jetzt bin ich zu Thatsachen gelangt, welche das hier noch vorhandene Dunkel lichten, und im Grunde erst eine ganz klare Einsicht in die Art gewähren, wie die elektromotorischen Wirkungen des Gastroknemius nach aussen zu Stande kommen. Bei einer anderen Gelegen-

---

[1] S. Taf. I. Fig. 4.

[2] S. oben S. 130. 139.

heit wird die Ausführlichkeit, mit der ich diese Thatsachen darzulegen gedenke, durch die Wichtigkeit sich rechtfertigen, die sie dann erlangen werden.[1]

## §. II. Die verschiedenen Punkte des Achillesspiegels wirken um so stärker aufsteigend nach Art einer Säule, je tiefer sie liegen.

In der Absicht, zu einem hier gleichgültigen Zwecke für die Parelektronomie des Achillesspiegels ein besseres Maass als bisher zu gewinnen, verfuhr ich wie folgt. Aus schwedischem Fliesspapier stanzte ich mit einem Locheisen kreisrunde Scheibchen von $3 \cdot 5^{\mathrm{mm}}$ Durchmesser. Der Gastroknemius lag auf [565] der bekannten dreieckigen Glasplatte mit dem Achillesspiegel nach oben, oder er war in der kleinen Streckvorrichtung mässig ausgespannt; im letzteren Falle war ihm das obere 'Knochenstück' gelassen.[2] Der Hauptsehne, beziehlich dem oberen Knochenstück, und der Achillessehne angelegt waren entweder die Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren, oder die Thonschilder der Zuleitungsgefässe. Der Strom war compensirt, die elektromotorische Kraft am runden Compensator abgelesen. Brachte ich nun auf den Achillesspiegel eines jener Scheibchen mit verdünnter Milchsäure ($\bar{L}$ : HO : : 1 : 1) getränkt, so entstand eine positive Ablenkung, weil in dem vom Scheibchen berührten Bezirke die parelektronomische Schicht zerstört wurde. Das Wachsen der Ablenkung war in höchstens $1^3/_4$ Minuten beendet. Wurde der Strom wieder compensirt, so gab der Unterschied der elektromotorischen Kräfte vor und nach Einwirkung des Scheibchens ein Maass für die Parelektronomie des Achillesspiegels; und indem ich, nach gewissen experimentellen Maassnahmen, den Versuch an einer anderen Stelle des Spiegels wiederholte, dachte ich durch den vergrösserten oder verkleinerten Erfolg zu erfahren, ob durch diese Maassnahmen die Parelektronomie beziehlich zu- oder abgenommen habe.

Zuvor jedoch musste ermittelt werden, ob ohne jene Maassnahmen die entwickelnden Scheibchen an allen Stellen einerlei Wirkung üben. Es zeigte sich, dass dies nicht der Fall war, und zwar gab sich in der Wirkung der Scheibchen an verschiedenen Stellen eine sehr auffallende Gesetzmässigkeit kund.

---

[1] Vergl. die folgende Abhandlung, §. V.

[2] S. oben 304. 305, und unten Abh. XXVII. §. XXI.

Legte ich das erste Scheibchen dem Spiegel in solcher Höhe an, dass noch ein oder zwei andere Scheibchen daneben in gleicher Höhe Platz hatten, so wirkte ein zweites in gleicher Höhe angebrachtes Scheibchen schwächer als das erste, ein drittes schwächer als das zweite. Doch war der Unterschied zwischen den Wirkungen des ersten und zweiten Scheibchens [566] nur klein, so dass er im einzelnen Falle leicht durch Zufälligkeiten verdeckt wurde, und sicher nur im Mittel aus mehreren Versuchen hervortrat, z. B.:

| Gastroknemius. | Ursprüngliche Wirkung in Compensatorgraden. | Zuwachs durch das | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 1. Scheibchen in der Medianlinie | 2. Scheibchen nach innen von 1. | 3. Scheibchen nach aussen von 1. |
| I. | — 7 | + 87 | + 92 | +59 |
| II. | — 3 | + 81 | +106 | +87 |
| III. | + 84 | +115 | + 74 | +71 |
| IV. | +300 | +209 | +108 | +44 |
| Mittel | + 93·5 | +123·0 | + 95·0 | +65·2 |

Das Auflegen eines neuen Scheibchens geschah stets nach je 120 Secunden, von denen etwa 110 auf Entwickelung und Compensiren des Zuwachses, die übrigen 10 auf Ergreifen, Tränken und Auflegen des zweiten Scheibchens kamen.

Innerhalb der möglichen Grenzen der Genauigkeit ist es gleichgültig, ob man das erste Scheibchen wie im obigen Falle in der Medianlinie, oder seitlich davon auflegt.

Nun aber denke man sich die Scheibchen nach einander in verschiedener Höhe aufgelegt. Gleichviel alsdann, ob man von oben oder von unten beginne, ob man bald höher, bald tiefer, bald in der Mitte, bald mehr nach innen oder mehr nach aussen ein Scheibchen anbringe, das beständige Ergebniss ist, dass die Scheibchen einen um so grösseren Zuwachs an aufsteigender Kraft bewirken, je tiefer sie aufgelegt werden. Unsicherheit in dieser Beziehung beginnt erst in der Nähe des oberen Randes des Spiegels; auf dem Längsschnitt an der Rückenfläche des Muskels aber wird der durch das Scheibchen scheinbar hervorgebrachte Zuwachs negativ. Folgende Beispiele genügen, um einen Begriff davon zu geben, wie deutlich dies Verhalten sich ausprägt.

| Ursprüngliche Wirkung in Compensatorgraden... | | Gastroknemius. | | | | | Mittel aus 10 Versuchen. | Zweite Differenzen. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I. | II. | | III. | IV. | | |
| | .. | — 29 | + 26 | | + 53 | + 95 | + 73·0 | |
| | | Von unten herauf. | | | Von oben herab | | | |
| | 1 | +266 | +363 | 5 | +213 | +231 | +238·2 | |
| Zuwachs | 2 | 205 | 201 | 4 | 131 | 105 | 156·7 | +81·5 |
| durch | 3 | 140 | 90 | 3 | 73 | 77 | 83·9 | 62·8 |
| L̄-Scheibchen | 4 | 91 | 120 | 2 | 86 | 50 | 71·9 | 12·0 |
| | 5 | 68 | 43 | 1 | 70 | 38 | 64·3 | 7·6 |

Die in der letzten Spalte angegebenen zweiten Differenzen oder Differenzen der Zuwachse, nach den Mittelzahlen aus 10 (den obigen 4 und noch 6 anderen) Versuchen berechnet, zeigen, dass die Wirkung der Scheibchen um so langsamer abnimmt, je mehr man dem oberen Rande des Spiegels sich nähert.

Werden die Scheibchen statt mit leitender Milchsäure mit nichtleitendem Kreosot getränkt, so ist beim Auflegen sowohl in gleicher wie in verschiedener Höhe der Erfolg im Wesentlichen der nämliche.

## §. III. Die stärkere elektromotorische Wirkung tieferer Stellen des Achillesspiegels rührt vorzüglich daher, dass die hier geringere Muskelmasse schlechtere Nebenschliessung für den Bussolkreis abgiebt.

Beim Nachdenken über die Ursache dieser Erscheinungen suchte ich sie zuerst in der mit wachsender Höhe etwas abnehmenden Neigung der Bündel gegen den Achillesspiegel, und es ist möglich, dass dieser Umstand dabei im Spiel ist. Der weitaus grösste Theil des Unterschiedes zwischen der Wirkung höher und tiefer gelegener Punkte des Achillesspiegels ist aber sicher anderen Ursprungs.

Schon früher habe ich einsichtlich gemacht, „dass im Gastroknemius, „auch ohne daran gelegten Bogen, die vom Achillesspiegel, gleichsam als „plattgedrückter, nicht isolirter [568] Säule ausgehende Strömung kreist.“ Die Strömung im Achillesspiegel ist aufsteigend, die durch die Muskelmasse also absteigend. „Eine nothwendige Folge davon ist, dass die „Masse des Muskels für den von jener Strömung in einen angelegten „Bogen übertretenden Zweig eine Nebenschliessung bildet.“ Wegen Wegfalls dieser Nebenschliessung zeigt ein der Länge nach aus dem Achillesspiegel geschnittenes Band einen grösseren Spannungsunterschied seiner

Enden, als der unversehrte Muskel selber zwischen Haupt- und Achillessehne.[1]

Die Muskelmasse nimmt nun aber von unten nach oben bis in die Gegend zu, wo der Achillesspiegel in den Längsschnitt der Rückenfläche übergeht. Fasst man, um in der Sprache meiner Hypothese zu reden, in der elektromotorischen Grenzschicht des Achillesspiegels eine quere Molekelreihe in's Auge, die der Muskeloberfläche entlang eine aufsteigende Stromcomponente sendet, so wird von deren Strömung ein um so kleinerer Theil in den Bussolkreis gelangen, je höher sie liegt, weil um so besser die Nebenschliessung ist, welche in Bezug auf jenen Kreis die Muskelmasse für die Strömung bildet.

Dies lässt sich bequem mit Hülfe des von Hrn. Helmholtz bewiesenen fruchtbaren Satzes darthun, welcher lautet: „Wählt man im „Inneren eines zusammengesetzten, aber nicht elektromo„torisch wirksamen Leitersystems zwei beliebig gelegene „Flächenelemente *a* und *b*, und ertheilt erst dem *a*, dann „dem *b* eine gleiche elektromotorische Kraft, so fliesst im „ersten Falle durch *b* so viel Elektricität, wie im zweiten „Falle durch *a*."[2] Wir ersetzen zwei in verschiedener Höhe gelegene dipolare Molekeln der Grenzschicht des Achillesspiegels durch elektromotorische Flächenelemente von gleicher Ausdehnung und Wirkung. Die Kraft dieser Elemente verlegen wir nacheinander in einen der Einfachheit halber [569] gleich gross gedachten Querschnitt des linearen Bussolkreises. Dass die Dichte des dadurch im Gastroknemius erzeugten Stromes im dünneren Theile des Muskels grösser sein werde, als im dickeren, bedarf nicht des Beweises. Das tiefer gelegene Element wird also von der grösseren, das höher gelegene von der kleineren Elektricitätsmenge durchflossen. Umgekehrt jenes sendet die grössere, dies die kleinere Elektricitätsmenge durch einen Querschnitt des Bussolkreises.

So begreift man, auch unter der Annahme gleicher elektromotorischer Kraft in verschiedenen Gegenden des Spiegels, dass von dessen unteren Theilen stärkere Ströme in den Bussolkreis übergehen, als von den oberen. Da der Muskel von den Enden nach der Mitte mit nach aussen convexer Krümmung anschwillt, müssen nach oben zu die Unterschiede der Zuwachse abnehmen.

Wendet man den Helmholtz'schen Satz auf den Fall an, wo mehrere Scheibchen in gleicher Höhe angebracht werden, so stimmt die Theorie nicht ohne Weiteres mit der Beobachtung. Ein elektromotorisch

---

[1] S. oben S. 310.

[2] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 353.

wirksamer Querschnitt des linearen Bussolkreises würde durch jedes im Achillesspiegel gleich hoch liegende und gleichgerichtete Flächenelement einen merklich gleich starken Strom schicken. Ein jedes Element sendet also auch umgekehrt durch den Bussolkreis merklich gleich viel Elektricität, wie darin sich zeigt, dass das erste Scheibchen, gleichviel ob in der Mitte oder seitlich angebracht, ungefähr gleich stark wirkt. Die Ströme der einzelnen Elemente aber summiren sich einfach nach dem Grundsatz der Superposition,[1] und somit müsste jedes neue Scheibchen zum Gesammtstrome gleich viel beitragen. Dass dies nicht geschieht, erklärt sich daraus, dass jedes aufgelegte Milchsäurescheibchen eine besserleitende Nebenschliessung bildet, welche die Stromcurven in sich verdichtet. Da die Leitungsgüte der Muskelsubstanz durch Absterben wächst,[2] wirkt auch der angeätzte Be- [570] zirk unter dem Scheibchen als schwächende Nebenschliessung. So wird verständlich, dass auch mit Kreosot getränkte Scheibchen nach einander in gleicher Höhe aufgelegt abnehmende Zuwachse erzeugen. Doch müsste die Abnahme bei Kreosot langsamer erfolgen als bei Milchsäure, wo auch das Scheibchen selber als Nebenschliessung wirkt. Dass dies der Fall sei, habe ich noch nicht festzustellen versucht.

Die Wirkung eines am natürlichen Längsschnitt über dem Rande des Achillesspiegels aufgelegten Scheibchens ist gleichfalls noch nicht ganz aufgeklärt. Legt man das Scheibchen zuletzt auf und lässt es so lange liegen wie die Scheibchen auf dem Achillesspiegel, so kann bei völliger Unwirksamkeit des Scheibchens ein negativer Zuwachs dadurch vorgespiegelt werden, dass die Wirksamkeit der früher geätzten Stellen sinkt. Man erhält aber auch im Augenblick des Auflegens bald positive, bald negative Ausschläge, die also keinen solchen Ursprung haben können. Für diese lassen verschiedene Gründe sich anführen. Erstens bewirkt das Scheibchen theils an sich, theils durch Anätzen des Muskels eine Verbesserung der Leitung an der Muskeloberfläche zwischen Achillesspiegel und Hauptsehne. Dadurch kann es sichtlich nur den vom Achillesspiegel in den Bussolkreis tretenden Stromzweig vergrössern. Ein anderer Grund dafür, dass das Scheibchen allein durch Aenderung der Leitungsverhältnisse einen positiven Zuwachs erzeuge, wird uns unten klar werden. Endlich kann das Scheibchen am Längsschnitt noch wirken durch Erzeugung chemischen Querschnittes an seinem oberen und unteren Rande. Unter sonst gleichen Umständen müsste wegen der nach der Hauptsehne zu wieder abnehmenden Dicke des Muskels der obere, aufsteigend wirksame

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. A. a. O. S. 212.

[2] Ranke, Tetanus. Eine physiologische Studie. Leipzig 1865. S. 36. 37.

Querschnitt die Oberhand haben. Ich habe noch keine nachhaltigen Bestrebungen darauf gerichtet, den Thatbestand mit diesen theoretischen Forderungen in Einklang zu bringen, was kaum der Mühe lohnen möchte.

[571] §. IV. Durch eine dem Gastroknemius angelegte, körperliche Nebenleitung, welche dessen Gestalt zum Cylinder ergänzt, lässt der Unterschied in der elektromotorischen Wirkung verschieden hoher Punkte des Achillesspiegels sich ausgleichen.

Obschon die Ursache der verschieden starken Wirkung verschieden hoch dem Achillesspiegel angelegter ätzender Scheibchen nach dem Obigen genugsam einleuchtete, war ich doch bemüht, einen unmittelbaren experimentellen Beweis für die Richtigkeit meiner Schlüsse mir zu verschaffen. Dazu versuchte ich, den Unterschied in der Nebenschliessung, welche die Muskelmasse in verschiedenen Höhen dem Achillesspiegelstrom in Bezug auf den Bussolkreis bietet, künstlich auszugleichen. Ich bettete nämlich den Muskel mit seiner Tibialfläche auf ein Lager aus Thon, der mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung angeknetet war. Der Thon ergänzte die nach unten verjüngte Gestalt des Muskels etwa zu der eines Cylinders von nur wenig grösserem Durchmesser als der des dicksten Theiles des Muskels. An der Rückenfläche des Muskels liess er einen Streif von hinlänglicher Breite frei, um die Scheibchen aufzulegen. Die Berührung des Thones mit dem Achillesspiegel übt auf die parelektronomische Schicht bekanntlich keinen Einfluss.[1] Diese Versuchsweise lieferte ein sehr schlagendes Ergebniss, wie folgende Zahlen lehren.

| | | Gastroknemius I. | Gastroknemius II. |
|---|---|---|---|
| Ursprüngliche Wirkung in Compensatorgraden | ohne Thon | + 25 | +157 |
| | mit Thon | − 12 | + 57 |
| | Von unten herauf. | | |
| Zuwachs durch $\overline{\text{L}}$-Scheibchen | 1. | + 45 | + 25 |
| | 2. | 39 | 24 |
| | 3. | 36 | 23 |
| | 4. | 39 | 30 |
| | 5. | 48 | 59 |
| Schliessliche Wirkung | mit Thon | 195 | 295 |
| | ohne Thon | 527 | 706 |

[1] S. oben Bd. I. S. 163.

[572] Während in den früheren Versuchen die Zuwachse bei Auflegen der Scheibchen bis zum fünften Scheibchen rasch abnehmen, sinken sie jetzt von absolut geringerer Höhe zwar, jedoch ohne Vergleich langsamer und nur bis zum dritten Scheibchen herab, wachsen von hier an wieder, und werden am oberen Rande des Spiegels sogar grösser als an der Achillessehne. Da der Thon nur als Leiter wirkt, kann sonach kein Zweifel an der Richtigkeit der Deutung mehr sein, die wir von jenen früheren Ergebnissen gaben. Die stärkere Wirkung der unteren Scheibchen am nicht auf Thon gebetteten Muskel rührt her von der geringeren Nebenschliessung, welche die nach der Sehne hin sich verjüngende Muskelmasse dem Achillesspiegelstrome bietet.

## §. V. Der verhältnissmässige Widerstand des Muskels, des Thones und der verdünnten Steinsalzlösung wird bestimmt.

Vor Allem wird nun nöthig, den Widerstand des Thones im Vergleich zu dem des Muskels zu kennen, und auch der Widerstand der Steinsalzlösung, mit welcher der Thon angeknetet ist, wird uns bald von Interesse werden.

Erste Bedingung für diese Bestimmungen ist, den feuchten Leitern prismatische Gestalt, wo möglich auch gleiche Dimensionen zu ertheilen. Dies gelingt auf dem von Hrn. Ranke angegebenen Wege, indem man sie in Glasröhren von gleichen Dimensionen bringt, die sie genau ausfüllen.[1] Aus einem 4·6 mm weiten, gut cylindrischen Rohre wurden drei 25 mm lange Stücke geschliffen. Um die untere Sehne des Gracilis oder Semimembranosus eines mittelgrossen Frosches knüpfte ich einen starken Faden, zog daran den Muskel in eines der Rohre, so dass beiderseits gleichviel hervorsah, und schnitt das Ueberstehende in einer Flucht mit den Mündungen des Rohres ab. Die Muskeln füllten den Querschnitt des Rohres strotzend aus. In ein anderes Rohr wurde Thon gepresst und an jedem Ende in einer Flucht mit der Mündung abgeschnitten. Endlich das [573] dritte Rohr füllte ich mit der verdünnten Steinsalzlösung, indem ich das eine Ende mit einer aufgeklebten Scheibe schwedischen Fliesspapieres verschloss, das Rohr mittels eines capillaren Hebers vollgoss, und auf das andere Ende eine gleiche Scheibe legte, die durch Luftdruck hinreichend haftete, um dem Rohr jede Stellung geben zu können.

Nun handelte es sich darum, die Rohre in einen Kreis so aufzu-

---

[1] Tetanus u. s. w. S. 44.

nehmen, dass 1. der Widerstand des Kreises auch ohne die Rohre bestimmt werden konnte, 2. der Widerstand der Rohre vom Widerstand des Kreises einen hinlänglichen Bruchtheil ausmachte, 3. die Strömung senkrecht auf die Grundfläche der Rohre stattfand.

Zu dem Ende verfertigte ich aus Guttapercha zwei Trichter von 90° Oeffnung und 25 mm Seitenlänge ihres Kegels. Das nur 2 mm lange Trichterrohr hatte wie die Maassrohre 4·6 mm Lichtung. Nachdem ich die Trichter mit Thon gefüllt hatte, drückte ich von der Basis aus auf den Thon, bis er aus dem Trichterrohre quoll, und schnitt das Hervorgequollene in einer Flucht mit der Mündung ab. Die Trichter wurden mit ihrer Axe in derselben Wagerechten, mit den Mündungen einander gegenüber aufgestellt, und der Basis der sie erfüllenden Thonmasse wurden die Bäusche der Zuleitungsgefässe möglichst unverrückbar angelegt. Zwischen die innerhalb der Trichterrohre befindlichen, in deren Mündung ihren Querschnitt zur Berührung bietenden cylindrischen Thonzapfen von gleichem Durchmesser mit den feuchten Leitern in den Rohren konnten nunmehr diese behufs der Widerstandsmessung angebracht werden, wobei die obigen Bedingungen 2. und 3. erfüllt waren. Sollte der Widerstand des Kreises ohne die Rohre bestimmt werden, so wurden die Zapfen unmittelbar zur Berührung gebracht.

Die Temperatur aller Theile der Vorrichtung war merklich dieselbe.

Der Widerstand des Kreises wurde gemessen durch die reciproke Grösse des Ausschlages des Bussolspiegels, den der Oeffnungsstrom eines Schlitteninductoriums erzeugte, in dessen primärem Kreise ein Quecksilberschlüssel den Strom einer beständigen Kette unterbrach. Dies Verfahren hatte den Vorzug, [574] dass die innere Polarisirbarkeit der Muskelsubstanz dabei möglichst unschädlich wurde, und dass von elektromotorischen Kräften im Kreise und Erwärmung der feuchten Leiter durch den Strom keine Störung zu befürchten war.

Nennt man die der Stromstärke proportionalen Ausschläge ohne Rohr $i_o$, die mit dem Thonrohre, dem Muskelrohre, dem Lösungsrohre beziehlich $i_t$, $i_m$, $i_l$, die zugehörigen eigenthümlichen Widerstände der drei Rohre aber $w_t$, $w_m$, $w_l$, so hat man wegen der gleichen Dimensionen der Rohre

$$w_t : w_m : w_l = \frac{1}{i_t} - \frac{1}{i_o} : \frac{1}{i_m} - \frac{1}{i_o} : \frac{1}{i_l} - \frac{1}{i_o}.$$

Es wurden zwei von einander unabhängige Messungsreihen angestellt, bei deren zweiter die Füllung der Trichter und Rohre erneuert und andere Abstände der Rollen gewählt wurden. In der ersten Reihe war der Muskel der Gracilis, in der zweiten der Semimembranosus. In jeder

Reihe beobachtete ich nach einander 5 Werthe von $i_o$, 5 von $i_t$, 5 von $i_m$, 10 von $i_l$, 5 von $i_m$, 5 von $i_t$, und zuletzt wieder 5 von $i_o$, und nahm das Mittel aus den 10 zu jeder Anordnung gehörigen Zahlen, um vorschreitende Veränderungen des Apparates möglichst auszugleichen. Die Schwankungen betrugen nur wenige Procente der Werthe. Ich erhielt in Scalentheilen:

| | $i_o$ | $i_t$ | $i_m$ | $i_l$ |
|---|---|---|---|---|
| I. | 48·0 | 21·6 | 30·4 | 36·8 |
| II. | 59·1 | 23·7 | 32·6 | 41·4 |

Daraus folgt

$$w_t : w_m : w_l = \begin{cases} \text{I. } 4\cdot013 : 1\cdot905 : 1\cdot000. \\ \text{II. } 3\cdot598 : 1\cdot904 : 1\cdot000. \end{cases}$$

Die Zahlen für den Widerstand des Muskels bezogen auf den der Lösung als Einheit stimmen in beiden Reihen so überein, dass die sonst hier bedeutungslose dritte Decimale berücksichtigt werden musste, um den Unterschied auszudrücken: eine Gleichheit, wie sie wohl nur das Werk eines günstigen Zufalls sein kann. Absolut sind diese Zahlen beiläufig etwas verfälscht durch Absterben des Muskels am Querschnitt (s. [575] oben S. 371) und durch die Fliesspapierscheiben an beiden Enden des Lösungsrohres. Die Zahlen für den Widerstand des Thones stimmen ausser Verhältniss schlechter, warum, weiss ich nicht zu sagen.

Der Thon war derselbe, dessen ich mich gewöhnlich bediene. Es schien angemessen, einmal seinen procentischen Gehalt $x$ an dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung[1] festzustellen. Durch Bestimmung der Menge Lösung, die man verbraucht, um eine bestimmte Menge Thon zur richtigen Consistenz anzukneten, gelingt dies nämlich nicht, weil beim Ankneten Thon verloren geht. Dagegen lässt $x$ sich erhalten durch Abwägen eines in Papier gewickelten Thonballens erst im feuchten, dann im lufttrockenen Zustande. Ist das Gewicht zuerst $P$, dann $p$, so hat man $x = 100\cdot75 \frac{P-p}{P}\cdot$ Für den Thon, der zu obigen Versuchen gebraucht

[1] Unter dreiviertelprocentiger Lösung ist solche verstanden, zu der dreiviertel Procent ihres Gewichtes an Steinsalz gesetzt sind, nicht solche, welche soviel davon enthält. — [Hr. O. Nasse hat die Concentration von Chlornatriumlösung und von anderen Salzlösungen ermittelt, bei welcher Froschmuskeln am längsten leistungsfähig bleiben. Für Chlornatrium giebt er 0·6% als günstigstes Verhältniss an (Pflüger's Archiv u. s. w. 1869. 2. Jahrgang. S. 114; — 1875. Bd. XI. S. 141). Da der mit dreiviertelprocentiger Lösung angeknetete Thon aber erfahrungsmässig die Muskeln nicht merklich angreift, so empfiehlt es sich, diese Concentration beizubehalten, um dem ohnedies schlechter leitenden Thone möglichst grosses Leitvermögen zu sichern.]

worden war, fand ich $x = 21 \cdot 04$. Multiplicirt man diese Zahl mit dem Verhältniss des specifischen Gewichtes des angekneteten Thones zu dem der Lösung, so erhält man den procentischen Gehalt $x_{,}$ des Thones an Lösung dem Volum nach. Das specifische Gewicht des angekneteten Thones im Mittel aus drei Wägungen in Luft und in Terpenthinöl war $= 1 \cdot 9116$, das der Lösung bei $19 \cdot 7^{0}$ C. ist $= 1 \cdot 0057$, das gesuchte Verhältniss also $1 \cdot 9011$ und $x_{,} = 39 \cdot 696$ oder etwa $= 40$. Wäre das Leitvermögen des angekneteten Thones im Vergleich zu dem der Lösung dem Volum letzterer im Thone proportional, so müsste der Widerstand des Thones, bezogen auf den der Lösung als Einheit, $= \frac{100}{40} = 2 \cdot 5$ sein. Dass er in Wirklichkeit grösser (im Mittel der obigen Zahlen $= 3 \cdot 8$) gefunden wird, erklärt sich unter Anderem daraus, dass die mit Lösung gefüllten Lücken in zwei aufeinander folgenden dünnen Querscheiben eines Thoncylinders einander nicht entsprechen.[1]

[576] Wie dem auch sei, für gegenwärtigen Zweck genügt uns zu wissen, dass der lebende Muskel fast zweimal, der Thon etwa viermal schlechter leitet, als dreiviertelprocentige Steinsalzlösung, mithin der Thon etwa zweimal schlechter als der lebende Muskel.

## §. VI. Umhüllen des Gastroknemius mit Thon macht ihn unter Umständen negativ wirksam.

Die Tabelle auf S. 372 zeigt noch eine merkwürdige Thatsache, welche der Ausgangspunkt für eine Reihe wichtiger Ermittelungen ward. Man sieht zunächst, dass Betten des Muskels auf Thon die elektromotorische Kraft herabsetzt. Dies war zu erwarten, wenn auch nicht vorherzusehen war, dass eine dem Muskel angelegte Masse, deren Leitvermögen mit dem seinigen von gleicher Ordnung ist, solche Schwächung ausüben würde. Die grösste derartige in der Tabelle vorkommende Schwächung beträgt etwa zwei Drittel der Kraft. Umgiebt man aber einen von Natur stark aufsteigend wirksamen oder der parelektronomischen Schicht am Achillesspiegel künstlich beraubten Gastroknemius mit einer mehrere Millimeter dicken, überall anliegenden Thonhülle, aus der nur Haupt- und Achillessehne hervorragen, so kann der Spannungsunterschied dieser Punkte auf $^{1}/_{25}$ von dem sinken, was er ohne Hülle ist. Vergl. übrigens unten S. 379.

Noch weniger vorherzusehen war jedoch, dass Anbringen einer Thon-

[1] Wurde der Thon über Schwefelsäure getrocknet, so betrug der Verlust $21 \cdot 662$%. Es bleiben also im lufttrockenen Thon noch $^{2}/_{3}$% Wasser zurück, welche bei obiger Berechnung ausser Acht gelassen sind.

hülle die Richtung des Stromes zwischen Haupt- und Achillessehne des Gastroknemius umzukehren vermag, wie in der Tabelle an dem stark parelektronomischen Gastroknemius I. vor Auflegen der Scheibchen sich zeigt. Um dieser Wahrnehmung weiter nachzugehen, diente mir folgende Vorrichtung.

[577] Der Gastroknemius war, den Achillesspiegel nach unten, zwischen den Elfenbeinplatten einer Streckvorrichtung[1] ausgespannt. An der Säule eines der zum Tragen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren bestimmten Ständer[2] glitt mit Reibung eine etwa 27 $^{mm}$ breite, gefirnisste Korkplatte auf und ab. In die obere Fläche dieser Platte, die nach Art des Tisches eines Mikroskopes vorsprang, hatte ich dem vorderen Rande parallel eine halbcylindrische Rinne von 13 $^{mm}$ Durchmesser gefeilt. Die Rinne wurde mit Thon gefüllt, in dem Thon eine der Gestalt des Muskels entsprechende Höhlung modellirt, und diese von unten her zwischen den Elfenbeinplatten der Streckvorrichtung dem Muskel bis zur Berührung genähert. Indem der Thon seitlich gegen den Muskel aufgewulstet und über ihm vereinigt, auch wohl eine Thonmasse über den Muskel fort den aufgewulsteten Rändern der unteren Masse angeknetet wurde, hatte es keine Schwierigkeit, den Muskel so mit Thon zu umgeben, dass nur Haupt- und Achillessehne hervorsahen. Eben so leicht gelang es durch Senken der Korkplatte, ihn aus der Thonhülle, die er dabei zerriss, zu befreien, und sie ihm, nach wieder gehobener Platte, in hinreichend übereinstimmender Art nochmals anzulegen.

Es zeigte sich regelmässig, dass stark parelektronomische, also schwach positiv wirksame Muskeln in der Thonhülle negativ wirken. Entblösst wirken die Muskeln wieder positiv, nur etwas schwächer, und dies Spiel lässt sich viele Male wiederholen, wobei die negative Wirkung im Thon etwas zunimmt, z. B.:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Gastroknemius frei | +31 $^{cgr}$; | in Thon | — 18; |
| „ | + 8 „; | „ „ | — 22; |
| „ | +12 „; | „ „ | — 24; |
| u. s. f. | | | |

Von Entwickelung des Achillesspiegelstromes durch öfteres Anlegen der Thonhülle ist, wie man sieht, jedenfalls nichts zu spüren; die bleibende Veränderung der Resultante im negativen Sinne beruht unstreitig auf vermehrter Leitungsgüte des Perimysiums.

[578] Wirkt der Muskel schon ohne Thonhülle absteigend, so erscheint in der Hülle die absteigende Kraft grösser, z. B.:

[1] Es war die oben S. 305. 306. beschriebene.

[2] S. oben Bd. I. Taf. III. Fig. 2.

Gastroknemius frei — 14 $^{cgr}$; im Thon — 34;
„ — 16 „ „ „ — 39;
u. s. f.

Doch kommt es auch vor, dass die Nebenschliessung den vorhandenen absteigenden Strom schwächt. Von den Bedingungen dieses Erfolges wird unten die Rede sein. Wirkt endlich der Muskel über ein gewisses Maass aufsteigend, so erscheint in der Hülle die Kraft kleiner. Nie wird darin die aufsteigende Kraft verstärkt; sondern mit der eben angedeuteten, noch zu besprechenden Ausnahme kann der Einfluss der Hülle stets als Verstärkung einer absteigenden Wirkung aufgefasst werden, mache nun die Verstärkung sich bemerkbar durch Abnahme aufsteigender, durch Verkehren aufsteigender in absteigende, oder durch Zunahme schon bestehender absteigender Wirkung.

Ueber ein gewisses Maass vergrössert Verdickung der Thonhülle deren Wirkung nicht merklich. Eine Rinne von 17 $^{mm}$ Durchmesser wirkte nicht stärker als die von nur 13 $^{mm}$.

### [§. VI. a. Die Thonhülle lässt sich durch Steinsalzlösung, nicht aber durch Quecksilber ersetzen.]

Als ich diese Versuche einmal mit zu feuchtem Thon anstellte, der sich nicht rein vom Muskel ablöste, sondern ihn wie beschmiert liess, blieb nach Entfernung des Thones der Muskel nicht nur schwächer aufsteigend, sondern sogar absteigend wirksam. Schon eine so dünne Thonschicht also schien zu der Wirkung auszureichen, um die es sich hier handelt. Ich schloss daraus, dass eine capillare Schicht der viermal besser leitenden verdünnten Steinsalzlösung selber dies vollends thun werde. Wirklich ist dies der Fall. Um den Muskel, je nach seiner ursprünglichen Wirksamkeit, minder stark aufsteigend, statt aufsteigend absteigend, stärker absteigend wirksam zu machen, genügt es, ihn mit der Salzlösung zu bepinseln. Das blosse Anlegen des nassen Pinsels bringt einen negativen Ausschlag hervor, indem der Pinsel als nebenschliessende Masse wirkt. Mit Fliesspapier getrocket, wirkt der Muskel nahe wie vorhin; von Neuem bepinselt, wieder mehr absteigend, und dies Spiel lässt sich mehrmals wiederholen.

Ich stellte einen parallelepipedischen Porzellantrog von [579] 75 $^{mm}$ Länge, 45 $^{mm}$ Breite und 20 $^{mm}$ Tiefe (eine Streichholzbüchse) so auf, dass ich ihn bequem und sicher heben und senken konnte. Dem in der kleinen Streckvorrichtung ausgespannten Gastroknemius waren oben ein Stück Triceps femoris, unten ein Stück Tarsus gelassen, und mittels

durchgezogener Fäden längs den Elfenbeinplatten der Vorrichtung so befestigt, dass sie beim Eintauchen des Gastroknemius in eine Flüssigkeit daraus hervorragten; ihre elektromotorischen Kräfte hatte heisse dreiviertelprocentige Steinsalzlösung vernichtet.[1]

Nachdem ihnen die Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren angelegt worden waren, hob ich den mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung gefüllten Trog dem Muskel so weit entgegen, dass die Lösung den Muskel allseits umgab. Die dadurch erzeugte Nebenschliessung liess vom Spannungsunterschied der berührten Punkte nur etwa den zweihundertsten Theil übrig. Wegen des verminderten Widerstandes des Kreises nahm dabei die Stromstärke in viel geringerem Maass ab als die Kraft. War der Achillesspiegel mit Kreosot angeätzt, und der Muskel demgemäss sehr stark wirksam, so konnte ich die vom Achillesspiegel ausgehende Strömung in der Flüssigkeit nachweisen, indem ich die Thonspitzen dem Muskel nahe eintauchte.[2] War der Muskel stärker parelektronomisch, aber noch aufsteigend wirksam, so hatte nach dem Eintauchen die zwischen Triceps und Tarsus übrig bleibende Spur von Strom die absteigende Richtung. Hatte ich endlich den Kniespiegelstrom durch Anätzen des Sehnenstreifes an der Tibialfläche theilweise, oder durch Aufschlitzen des Muskels längs der sehnigen Scheidewand vollständiger entwickelt (s. oben S. 365), so dass der Muskel stark absteigend wirkte, so wurde durch Eintauchen diese Wirkung verkleinert, z. B. am geätzten Muskel von —90 auf —9, am aufgeschlitzten von —629 auf —16 $^{cgr}$. Dies ist der eine Fall, in welchem Nebenschliessung [580] einen positiven Zuwachs statt eines negativen erzeugt (s. vorige Seite).

Das Bepinseln oder Eintauchen und das Abtrocknen des Muskels sind in mancher Beziehung minder umständlich als das Umkneten des Muskels mit Thon und sein Entfernen aus der Thonhülle. Doch geht das Abtrocknen nicht so geschwind von statten wie das Entfernen aus der Thonhülle; oft bleibt der Muskel, wenn auch schwächer, negativ wirksam, vielleicht wegen Quellung des Perimysiums; die capillare Schicht lässt sich, wo man es wünschen sollte (s. unten S. 385. 386), nicht sicher auf bestimmte Bezirke einschränken; endlich bei öfterer Widerholung des Versuches scheint der Achillesspiegel mehr von der Lösung als vom

---

[1] [Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 132.]

[2] Sie bröckeln in der Lösung schnell ab. Deshalb wurde gewöhnlich der Strom von Gewebetheilen abgeleitet, die aus der Lösung hervorragten, da sonst vortheilhafter gewesen wäre, Haupt- und Achillessehne in der Lösung mit den Thonspitzen zu berühren.

Thone zu leiden. Dies sind die Gründe, aus denen ich, auch nachdem ich das Einhüllen in Thon durch Bepinseln mit Lösung ersetzen gelernt hatte, in vielen Fällen noch ersteres Verfahren vorzog.

Gesättigte Steinsalzlösung lässt von der Wirkung des Muskels nichts Deutliches mehr nach Aussen gelangen.

Danach schien unfraglich, dass auch Quecksilber so wirken würde. Als ich aber, meiner Gewohnheit treu, auch scheinbar Selbstverständliches durch den Versuch zu prüfen, den mit Quecksilber gefüllten Trog einem Gastroknemius entgegenhob, an dessen Achillesspiegel die parelektronomische Schicht mit verdünnter Milchsäure zerstört war, fand ich zu meiner Ueberraschung den Spannungsunterschied der aus dem flüssigen Metall hervorragenden zuleitenden Gewebetheile fast unverändert. Zwar zeigte sich, als ich näher zusah, im ersten Augenblick eine heftige negative Ablenkung; unmittelbar nachher aber näherte sich der Spiegel schnell seinem früheren Stand und erreichte ihn wieder mehr oder minder vollständig. Die fast unendlich gut zu nennende Nebenschliessung durch das Quecksilber liess also die elektromotorische Gastroknemius-Resultante beinah ungeschwächt.

Da ich bei diesen Versuchen nur wie gewöhnlich den Achillesspiegel mit der Säure benetzt hatte, so war eine entfernte Möglichkeit, dass die saure untere, und die alkalische obere Hälfte des Muskels mit dem Metall eine Säure-Alkali-Kette [581] bilden, deren Strom den durch Nebenschliessung geschwächten Muskelstrom zur früheren Höhe ergänze. Schon der zeitliche Verlauf der Erscheinung sprach gegen diese Deutung; auch blieb der Erfolg derselbe, als ich, statt nur den Achillesspiegel, den ganzen Muskel mit Säure bestrich, und Benetzen nur des Achillesspiegels eines wärmestarren Muskels mit Säure gab keine Wirkung in obigem Sinne.

So sonderbar die Thatsache beim ersten Anblick ist, so leicht erklärt sie sich bei näherer Betrachtung. Nach meinen Versuchen mit der Siemens'schen Wippe verhält sich in verdünnter Schwefelsäure die Polarisation von Quecksilber zu der von Platin wie $\frac{1}{1 \cdot 3} : 1.$[1] Trotz der Beweglichkeit seiner Oberfläche ist Quecksilber ein sehr polarisirbares Metall Der Vorgang ist also wesentlich derselbe, als brächte man zu einem die Bussole enthaltenden Zweige des Schliessdrahtes einer Kette eine Nebenleitung an, in der ein Voltameter mit Platinelektroden sich befindet. Im ersten Augenblick erfolgt eine Schwächung des Stromes, wenn aber die Polarisation den Stromzweig in der Nebenleitung vernichtet hat, kann

[1] S. oben Bd. I. S. 75.

man nach dem BOSSCHA'schen Satze die Nebenleitung mit dem Voltameter entfernen und anbringen, ohne in der übrigen Leitung das dynamische Gleichgewicht zu stören.[1] In dem Fall der Nebenleitung befindet sich in unserem Versuche das Quecksilber mit der schnell an seiner Oberfläche sich entwickelnden elektromotorischen Gegenkraft. Sobald diese den Strom im Quecksilber aufhebt, ist es, als sei letzteres nicht mehr da. Im Maasse wie dieser Zustand erreicht wird, nimmt demnach der Strom im Bussolkreise seine frühere Grösse wieder an.

Die Richtigkeit dieser Erklärung folgt daraus, dass jede Erschütterung des Quecksilbers von einem nach Verhältniss heftigen negativen Ausschlage begleitet ist.[2]

[582] Um aber unsere Erklärung vollends zu sichern, habe ich noch folgenden Versuch angestellt, der insofern leichtere Einsicht gewährt, als der Muskel dabei durch einen an sich nicht elektromotorischen, sondern von einem fremden Strome durchflossenen feuchten Leiter ersetzt ist. Ich befestigte zwei kleine Glastrichter neben einander in aufrechter Stellung so, dass der Abstand der unteren Mündungen ihrer beiläufig nur 20 $^{mm}$ langen Rohre von Mitte zu Mitte 67 $^{mm}$ betrug, und zog durch die Rohre einen baumwollenen, mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung getränkten Docht. Der Docht war zwischen den unteren Mündungen der Rohre straff ausgespannt, damit er auch in Quecksilber gerade bleibe. Die beiden Enden des Dochtes befanden sich in den Trichterkegeln, und waren mit zwei Lagen Thon überknetet, deren untere aus gewöhnlichem, die obere aus Thon bestand, der mit schwefelsaurer Zinkoxydlösung angefeuchtet war. Ueber letzterer Schicht stand schwefelsaure Zinkoxydlösung, in welche verquickte Zinkplatten tauchten. Der Strom einer beständigen Kette wurde durch diese Vorrichtung und die Bussole gesandt und seine Stärke gemessen. Die Trichter mit dem zwischen ihnen ausgespannten Dochte schwebten über dem erwähnten Troge mit Quecksilber. Wurde dieser gehoben, bis der Docht ganz von Quecksilber umgeben war, so stieg zwar im ersten Augenblick die Ablenkung, sogleich aber sank sie wieder und erreichte fast genau ihre frühere Stärke. Erschütterung erzeugte schnelle positive Schwankungen. Ersetzte ich das Quecksilber im Troge durch dreiviertelprocentige Steinsalzlösung, so erhielt ich dauernd eine etwa so grosse Verstärkung des Stromes, wie Quecksilber sie im ersten Augenblick erzeugte. Sogar die kurzen Ströme des Schlitteninduc-

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1858. Bd. CIV. S. 460; — [vergl. oben Bd. I. S. 258; — Bd. II. S. 84].

[2] Ueber die Wirkung der Erschütterung polarisirter Elektroden vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 212. Anm. 1 — Bd. II. Abth. II. S. 325.

toriums wurden durch Lösung mehr gestärkt als durch Quecksilber. Mit dem Docht in der Luft erfolgten 67·0, in Quecksilber 75·7, in Lösung 87·0 Scalentheile Ausschlag.

Dieser Versuch ist der reciproke zu einem seinerzeit viel besprochenen Versuche von Hrn. Poggendorff. In der Axe eines weiten Glasrohres verläuft ein Platindraht, der eine Kette schliesst. Wird das Rohr mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, so bleibt der Strom ungeändert, obschon eine leicht wahrnehm- [583] bare Verstärkung die Folge der Ausbreitung des Stromes in der Flüssigkeit sein müsste. Hr. Poggendorff selber hat dies so ausgelegt, als könne hier keine Zersetzung eintreten, mithin der Strom nicht auf den feuchten Leiter übergehen, weil dieser nur durch Elektrolyse leite.[1] Hr. Jacobi hat aber bei ähnlichen Anordnungen Elektrolyse nachgewiesen,[2] und Hr. Beetz hat schon darauf aufmerksam gemacht, dass der Strom in der Flüssigkeit durch Polarisation vernichtet werde.[3] Unstreitig ist dies der Grund der Erscheinung, und mit verquicktem Zinkdraht in schwefelsaurer Zinkoxydlösung wäre das Ergebniss sicher ein anderes.

Eine metallische Nebenschliessung, sofern sie bis zur Vernichtung des ursprünglichen Stromes polarisirbar ist, verändert also den Strom in einem feuchten Leiter nicht, gleichviel ob dieser durchströmt sei, oder elektromotorische Kräfte in seinem Inneren beherberge. Um so sicherer hindert sie, was der Ausführung nicht bedarf, den Uebergang aus einem feuchten Leiter durch sie hindurch in einen anderen. Von Humboldt und Gay-Lussac bemerkten, dass man einen Zitterrochen zwischen zwei am Rande sich berührenden metallischen Schüsseln ungestraft trage.[4] Matteucci fand, dass Blattgold zwischen Muskel und Nerv die secundäre Zuckung aufhebe, und Hr. Becquerel d. V. gab die richtige Erklärung dieses Umstandes, durch den Matteucci sich verleiten liess, die elektrische Natur der secundären Zuckung zu läugnen, und sie auf Fernwirkung des Nervenprincipes im primär zuckenden Muskel zu deuten.[5] Ich selber endlich zeigte unmittelbar, dass eine unter Wasser befindliche Säule durch eine metallische Hülle keinen merklichen Stromtheil nach aussen sende.[6]

---

1 Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 54.

2 Ebenda, 1846. Bd. LXIX. S. 181.

3 Fortschritte der Physik im Jahre 1845 u. s. w. S. 448.

4 Gilbert's Annalen u. s. w. 1806. Bd. XXII. S. 8.

5 Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. 1849. S. 105.

6 Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1864. S. 352. — [Vergl. unten Abh. XXX. §. IX.].

## [584] §. VII. Wie Nebenschliessung die absteigende Kraft des Gastroknemius verstärke, wird erklärt.

Nach dieser Richtung also ist Alles deutlich; das hier zu Erklärende ist, wie Nebenschliessung, anstatt einfach die elektromotorische Wirkung des Gastroknemius zu schwächen, dessen Kraft stets in absolut negativem Sinne ändere. Folgendermaassen lässt sich dies begreifen.

Schon früher wies ich nach, dass der in der Muskelmasse versteckte Kniespiegel, sofern er nicht bis zur Unwirksamkeit parelektronomisch ist, durch den Muskel eine Strömung sende, die im Kniespiegel selber ab-, im Muskel aufsteige. Diese Strömung setzt sich im Muskel zusammen mit der darin absteigenden Strömung, welche ausgeht von dem in sich aufsteigend wirksamen Achillesspiegel, sofern er nicht bis zur Unwirksamkeit parelektronomisch ist (vergl. oben S. 369). In den Bussolkreis sendet demgemäss der Kniespiegel einen scheinbar im Muskel absteigenden, der Achillesspiegel einen scheinbar darin aufsteigenden Stromzweig, und je nachdem der erste oder zweite dieser Zweige der stärkere ist, erscheint der Muskel negativ oder postiv wirksam.

Der Betrag, in welchem jeder der beiden Spiegel seine Componente in den Bussolkreis sendet, wird beeinflusst durch die Nebenschliessung, welche in Bezug auf jenen Kreis die Muskelmasse und andere dem Muskel passend anliegende leitende Massen dem Ausgleich der Spannungen darbieten.

Um in dieser Beziehung Kniespiegel und Achillesspiegel mit einander zu vergleichen, theilen wir den Muskel in drei Längenabschnitte. Der obere erstreckt sich bis an den oberen Rand des Achillesspiegels, der untere bis an das untere Ende des Sehnenstreifes in der Tibialfläche. Im mittleren Abschnitte befindet sich der obere Theil des Achilles- und der untere des Kniespiegels, im oberen Abschnitte nur der obere Theil des Knie-, im unteren Abschnitte nur der untere Theil des Achillesspiegels. Für die im mittleren Abschnitte gelegenen Theile beider Spiegel ist die durch die Muskelmasse gebildete Nebenschliessung etwa die gleiche. Dagegen ist sie für den im oberen Abschnitte gelegenen Theil des Knie- [585] spiegels eine bessere als für den im unteren Abschnitte gelegenen Theil des Achillesspiegels. Denn im oberen Abschnitte rundet sich der Muskel zu dem dicken Muskelkopf ab, im unteren läuft er rasch sich verjüngend in die schlanke Achillessehne aus.

Nun ist für prismatische Leiter, in denen die Elektricität nur nach einer Richtung sich bewegt, leicht zu zeigen, dass je besser die für einen Stromzweig schon vorhandene Nebenschliessung ist, um so weniger wird er geschwächt durch weiteres Verbessern dieser Nebenschliessung um

eine bestimmte Grösse. In folgender Figur seien $K$ die Kette mit der elektromotorischen Kraft $E$ im Kettenzweige vom Widerstande $\varLambda$, $B$ die Bussole im Bussolzweige vom Widerstande $\lambda$; endlich $\lambda_{,}$ eine Nebenschliessung zum Bussolzweige, deren Widerstand $\lambda_{,} = \frac{l}{q \cdot s}$, wo $l$ die Länge, $q$ der Querschnitt, $s$ die specifische Leitungsgüte. Die Nebenschliessung ist mit ihren beiden ebenen Endquerschnitten zwischen zwei leitenden Massen $M$, $M_{,}$ von so grosser specifischer Leitungsgüte angebracht, dass $s$ dagegen verschwindet; die Trennungsebenen sind folglich isoëlektrische Flächen. Die Stromstärke im Bussolkreise wird alsdann sein

$$I_\lambda = \frac{E . l}{(\varLambda + \lambda) l + \varLambda \lambda q s}.$$

Differenzirt man diesen Ausdruck nach $q$, so erhält man

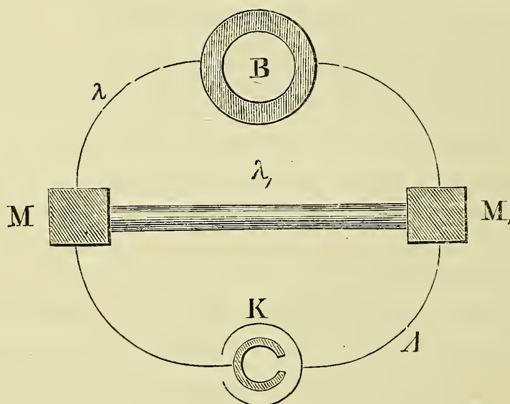



Fig. 35.

[586]
$$dI_\lambda = - \frac{E . l . \varLambda \lambda s}{[(\varLambda + \lambda) l + \varLambda \lambda q s]^2} dq.$$

$dI_\lambda$ nimmt ab mit wachsendem $q$, d. h. für eine gleiche Verbesserung der Nebenschliessung durch Vergrösserung ihres Querschnittes um $dq$ fällt die Abnahme der Stromstärke um so kleiner aus, je grösser $q$ oder je besser die schon vorhandene Nebenschliessung ist.

Aehnliches muss auch in körperlichen Leitern gelten. Wird also die Nebenschliessung, welche die Muskelmasse der von beiden Spiegeln ausgehenden Strömung bietet, durch Umhüllen des Muskels mit Thon, Bepinseln mit verdünnter Steinsalzlösung, Eintauchen in solche Lösung verbessert, so werden die Stromtheile, welche von den im mittleren Abschnitte gelegenen Theilen der Spiegel ausgehen, in ungefähr gleichem

Verhältniss geschwächt. Dagegen der aufsteigende Stromtheil, welcher ausgeht von dem im unteren Abschnitte gelegenen Theile des Achillesspiegels, wird unter der angebrachten Nebenschliessung mehr leiden, als der absteigende Stromtheil, welcher ausgeht von dem im oberen Abschnitte gelegenen Theile des Kniespiegels.

Mit Hülfe des Helmholtz'schen Satzes lässt sich dies auch folgendermaassen einsehen. Denken wir uns im oberen und im unteren Abschnitte des Muskels ein elektromotorisches Flächenelement. Es wird durch den Bussolkreis eine um so grössere Elektricitätsmenge senden, je grösser die Elektricitätsmenge ist, die es selber von einem gleich grossen und gleich stark elektromotorischen Querschnitte des Bussolkreises erhält, im Allgemeinen also, je grösser die Stromdichte in dem senkrecht auf die Strömung genommenen Muskelquerschnitt ist, in welchem es liegt. Nun werde der Muskel in eine vergleichsweise unbegrenzte Masse eines Leiters von gleichem specifischen Widerstande getaucht. Dadurch wird im oberen und im unteren Abschnitte die Stromdichte sinken, um in beiden derselben niederen Grenze sich zu nähern. Da die Stromdichte im unteren Abschnitte grösser war, erleidet sie also hier den grösseren Verlust. Umgekehrt würde das Eintauchen bewirken, dass der vom Element in diesem Abschnitt ausgesendete Stromtheil im Bussolkreis eine [587] grössere Schwächung erführe, als der vom Element im oberen Abschnitte stammende, w. z. b. w.

Daraus erklären sich alle obigen Erfolge. Gleichviel was Richtung und Grösse der ursprünglichen Wirkung war, durch Verbessern der Nebenschliessung muss die Wirkung einen Schritt im Sinne der Kniespiegelkraft, d. h. in negativer Richtung thun. Der stark aufsteigend wirksame Muskel also wird es weniger; am hinreichend schwach aufsteigend wirksamen führt der Schritt über den Nullpunkt fort in's Negative; der bereits absteigend wirksame Muskel wird stärker wirksam in gleicher Richtung. Zugleich aber wird die absolute Grösse beider entgegengesetzten Wirkungen vermindert, so dass bei sehr guter Nebenschliessung der Muskel fast ganz unwirksam wird. Dadurch kann geschehen, dass die Wirkung des schon absteigenden Muskels verkleinert statt vergrössert erscheint. Der Unterschied zwischen auf- und absteigender Wirkung wächst zwar zu Gunsten letzterer, aber beide algebraisch zu summirenden Grössen werden zugleich mit einem so kleinen Factor multiplicirt, dass die negative Resultante absolut genommen sinkt (s. unten S. 388).

Versuche mit nur theilweiser Umhüllung des Muskels bestätigen diese Theorie. Legt man einen Thonring von etwa 5 mm Dicke um den Muskelkopf oberhalb des Achillesspiegels, so erhält man einen schwachen aufsteigenden Zuwachs, weil man den absteigenden Kniespiegelstrom

schwächt. So muss beiläufig auch das am Längsschnitt der Rückenfläche angelegte Milchsäurescheibchen wirken (s. oben S. 371). Ein absteigender Zuwachs dagegen erfolgt, wenn man den Ring unterhalb des unteren Endes des Sehnenstreifes der Tibialfläche anbringt. Auch fährt ein solcher Zuwachs fort zu erscheinen, wenn man mit dem Ring am Muskel emporsteigt, bis ein Punkt kommt, wo die Wirkung Null ist und jenseit dessen sie positiv wird. Dies erklärt sich nach dem HELMHOLTZ'schen Satz aus dem Einfluss, den der Thonring auf eine den Muskel zwischen Haupt- und Achillessehne durchfliessende Strömung üben würde. Die ohne den Ring im Achillesspiegel selber und ihm nahe verlaufenden Stromcurven werden in den Ring hinein [588] sich biegen, die der Axe des Muskels näheren, welche die Flächenelemente des Kniespiegels treffen, vergleichsweise ungestört bleiben. Hieraus ergiebt sich ein neuer Grund gegen Hrn. MEISSNER's Art, den Strom vom Gastroknemius mittels eines um den Muskelbauch geknüpften, mit Eiweiss getränkten Fadens abzuleiten.[1] Umstände lassen sich denken, unter denen ein solcher Faden durch Nebenschliessung Fehler veranlassen könnte.

Umhüllt man abwechselnd die obere und untere Muskelhälfte mit Thon, so erhält man, wie nach Vorigem von selber sich versteht, im letzteren Falle viel stärkere absteigende Wirkung als im ersteren. Sind etwa die unteren zwei Drittel des Muskels in Thon gehüllt, so bringt Umhüllung des oberen Drittels nicht sicher Vermehrung des absteigenden Zuwachses hervor.

### §. VIII. Folgerungen aus Obigem. Der Gastroknemius eignet sich nicht dazu, um die Umkehr der elektromotorischen Kraft natürlichen Querschnittes durch Parelektronomie daran festzustellen.

Aus diesen Versuchen folgt zunächst, dass der Kniespiegel so parelektronomisch weder ist, noch zur Erklärung der elektromotorischen Erscheinungen am Gastroknemius zu sein braucht, wie ich früher annahm. Um die Schwäche der nach aussen gelangenden Kniespiegelwirkung zu erklären, tritt an Stelle der vermutheten hohen Parelektronomie, für die sonst kein Grund vorlag, die bisher nicht berücksichtigte Thatsache, dass für den Kniespiegelstrom die Bedingungen der Ableitung ungünstigere sind, als für den Achillesspiegelstrom. Dem Aufschlitzen des Gastroknemius längs der Scheidewand, dem Ueberdehnen, dem Anätzen des

[1] S. oben S. 303.

Sehnenstreifes der Tibialfläche, diesen drei Versuchsweisen, mittels deren bisher die absteigende Kniespiegelcomponente zum Vorschein gebracht wurde, liess sich vorwerfen, dass sie die Kraft, die sie nachwiesen, erst schufen. Das Verfahren, den Kniespiegelstrom vergleichsweise zu verstärken, indem man den Achillesspiegelstrom durch Nebenschliessung vergleichsweise mehr schwächt, ist von diesem Ein- [589] wurfe frei. Sein Erfolg lehrt uns, dass der Kniespiegel für gewöhnlich, so weit sich urtheilen lässt, in einem gewissen mittleren Grade der Parelektronomie verharrt, wie eben andere sehnige Muskelenden und der Achillesspiegel auch. Die scheinbare elektromotorische Ueberlegenheit des letzteren beruht wesentlich auf der ungünstigeren Lage des Kniespiegels. Verjüngte sich der Gastroknemius nach oben wie nach unten, endete er an der Hauptsehne dünn wie an der Achillessehne, so fände zwischen Haupt- und Achillessehne kein Strom statt, oder wenigstens der Strom flösse so oft nach unten wie nach oben. Ausserdem kommt natürlich in Betracht, dass der Achillesspiegel allerlei schädlichen Einflüssen blossliegt, gegen welche der grösste Theil des Kniespiegels vollkommen geschützt ist.

Wie man sich erinnert, wurde auf Grund von Beobachtungen am Gastroknemius die Lehre von der Parelektronomie des natürlichen Querschnittes zuerst aufgestellt. Am Gastroknemius war es, wo ich, abgesehen von den ersten rohen Wahrnehmungen an ganzen Gliedmaassen, zuerst erfuhr, dass ein unversehrter Muskel unter Umständen stromlos erscheinen oder verkehrt wirken kann, und dass es genügt, den natürlichen Querschnitt irgendwie zu zerstören, um den gewöhnlichen Strom hervorzurufen.

Ohne dass ich damals es ahnen konnte, betrafen diese Wahrnehmungen, die von so fundamentaler Bedeutung werden sollten, statt des gewöhnlichen Stromes vom Längs- zum Querschnitt, einen natürlichen Neigungsstrom. Es entstand aber daraus kein Fehler, weil die Lehre von der Parelektronomie auch auf die schrägen natürlichen Querschnitte und ihre Neigungsströme passte.[1] Dies war um so glücklicher, als an den hier brauchbaren Muskeln kein senkrechter natürlicher Querschnitt vorkommt, vielmehr alle Ströme sehniger Enden zum Theil Neigungsströme sind.[2]

Jetzt aber findet sich merkwürdigerweise auch noch, dass Versuchen am Gastroknemius der Beweis für Umkehr der elek- [590] tromotorischen Kraft natürlichen Querschnittes durch Parelektronomie nicht entnommen werden kann. Stromlosigkeit, absteigende Wirkung des Gastroknemius,

---

[1] S. oben S. 130. 131.

[2] S. oben S. 313.

sind weit davon entfernt, unmittelbar den Schluss auf gleiche Zustände des Achillesspiegels zu gestatten.

Der Strom zwischen Haupt- und Achillessehne lässt sich als algebraische Summe von vier Componenten auffassen: 1. des Neigungsstromes des Achillesspiegels, wie er ohne parelektronomische Schicht wäre: seine aufsteigende Kraft heisse $+ n_a M_a$, wo $n_a < 1$ die Schwächung ausdrückt, welche diese Kraft durch Nebenschliessung erfährt; 2. des Neigungsstromes der parelektronomischen Schicht desselben Spiegels: seine absteigende Kraft sei $- n_a P_a$; 3. des Neigungsstromes des Kniespiegels, wie er ohne parelektronomische Schicht wäre; seine absteigende Kraft heisse $- n_k M_k$, wo $n_k < n_a$ die Schwächung ausdrückt, welche diese Kraft durch Nebenschliessung erfährt; endlich 4. des Neigungsstromes der parelektronomischen Schicht desselben Spiegels: seine aufsteigende Kraft sei $+ n_k P_k$. Wegen der geringeren Neigung der Bündel gegen den oberen Theil des Kniespiegels (s. oben S. 366) hat man beiläufig $M_k$, $P_k$ unter sonst gleichen Umständen $< M_a$, $P_a$. Die Gesammtwirkung des Gastroknemius ist

$$S = n_a (M_a - P_a) - n_k (M_k - P_k).$$

Setzt man $P_a < M_a$, $P_k < M_k$, so dass $S$ einen geringen positiven Werth erhält, und lässt $n_a$ über ein gewisses Maass schneller als $n_k$ abnehmen, wodurch man in der Formel die Wirkung einer angebrachten Nebenschliessung vorstellt, so wird $S$ durch Null hindurch negativ. Setzt man $M_k - P_k$ so viel grösser als $M_a - P_a$, dass $S$ trotz $n_k < n_a$ negativ ist, und lässt wieder $n_a$ schneller als $n_k$ abnehmen, so ist die Folge eine Vergrösserung des negativen Werthes von $S$; aber nur bis zu einer gewissen Grenze, jenseit welcher der negative Unterschied wieder abnimmt, weil bei immer besser werdender Nebenschliessung $n_k$ und $n_a$ derselben niederen Grenze sich nähern. So drückt die Formel aus, dass sehr gute Nebenschliessung die negative Wirksamkeit eines Gastroknemius nicht mehr erhöht, sondern vermindert (s. oben S. 385).

[591] Nun aber handelt es sich darum, welche Schlüsse aus dem bald positiven, bald negativen, bald der Null gleichen Werthe von $S$ auf die Grösse von $P_a$ gezogen werden können. Das Dasein von $P_a$ an sich ist hinlänglich bewiesen durch den Erfolg des Aetzens, Brennens u. s. w. Die Grösse des Unterschiedes zwischen der Wirkung eines stark parelektronomischen Gastroknemius vor und nach dem Aetzen, Brennen u. s. w. zeigt überdies, dass in solchen Fällen $P_a$ nur wenig kleiner als $M_a$ sein könne. Allein die Frage ist, ob aus den Versuchen am Gastroknemius zu folgern sei, dass $P_a$ so gross und grösser werden könne als $M_a$. So lange ich Grund zu haben glaubte, $P_k = M_k$ zu setzen, also den Sub-

trahenden $n_k(M_k - P_k)$ im obigen Ausdruck für $S$ zu vernachlässigen, wie es noch in meinen letzten hierauf bezüglichen Mittheilungen der Fall war, so lange war ich auch berechtigt, aus $S =$ oder $< 0$ ohne Weiteres auf $P_a =$, beziehlich $> M_a$ zu schliessen. Dieser Schluss ist jetzt nicht mehr zulässig. Aus $S = 0$ kann nicht geschlossen werden auf $P_a = M_a$, $P_k = M_k$, da auch

$$\frac{M_a - P_a}{M_k - P_k} = \frac{n_k}{n_a}$$

$S = 0$ macht; und aus $S < 0$ nicht auf $P_a > M_a$, da auch

$$\frac{M_a - P_a}{M_k - P_k} < \frac{n_k}{n_a}$$

$S$ negativ macht. Die Erscheinungen am Gastroknemius allein berechtigen bei unserer jetzigen Einsicht also nur zu einem Theile der Schlüsse, auf denen die Lehre von der Parelektronomie ruht.

## §. IX. Die am Gastroknemius zweifelhaft gewordene Umkehr der elektromotorischen Kraft natürlichen Querschnittes durch Parelektronomie ist an regelmässigen Muskeln nachweisbar.

Dennoch bleibt diese Lehre in vollem Umfange bestehen. Regelmässige Muskeln zeigen unzweideutig die Erscheinungen, aus denen ich zuerst am Gastroknemius die Umkehr der elektromotorischen Kraft durch Parelektronomie erschloss, obschon auch an ihnen eine früher nicht beachtete Verwickelung eintritt, die aber leicht zu lösen ist.

[592] Positivität des natürlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt findet sich häufig am unteren Ende des Cutaneus, Sartorius und Semimembranosus, und ziemlich oft am oberen Ende der beiden ersteren Muskeln. Dagegen das obere Ende des Semimembranosus und beide Enden des Gracilis mir nicht einmal völlige Stromlosigkeit dargeboten haben. Wahrscheinlich liegt der Grund davon in der Schwierigkeit, diese drei Enden unverletzt herzustellen. Am oberen Ende des Gracilis und Semimembranosus beruht diese Schwierigkeit auf der Kürze der bandartig breiten Sehne, welche die Muskeln an die Beckenfuge heftet. Das untere Ende des Gracilis ist mit dem Cutaneus so verwachsen, dass es nicht oft gelingen mag, sie unversehrt zu trennen. Sollten regelmässig ein paar Gracilisbündel vom Perimysium des Cutaneus entspringen, so wäre erklärt, weshalb die Verletzung meist nur den Gracilis treffe. Ob diese

Anordnung wirklich stattfinde, ist schwer zu entscheiden, und ich habe mich davon noch nicht überzeugen können.

Wie dem auch sei, man könnte nun glauben, die blosse Beobachtung der Positivität eines sehnigen Endes gegen Längsschnitt beweise schon die Umkehr der elektromotorischen Kraft durch Parelektronomie; aber mit nichten.

Es kann nämlich ein sehniges Ende *A* auch dann positiv gegen Längsschnitt erscheinen, wenn es selber sich in Wahrheit neutral oder sogar schwach negativ dagegen verhält. Dies ist dann der Fall, wenn das andere Ende *B* weniger parelektronomisch ist, um so leichter, wenn *B* dies nur sehr wenig oder wenn in *B* künstlicher Querschnitt angelegt ist. Alsdann verhält sich jeder *B* nähere Längsschnittspunkt negativ gegen jeden davon entfernteren, und folglich jeder Längsschnittspunkt negativ gegen *A*.

Ich sah dies mehrere Male am unteren Ende des Sartorius. Die eine Thonspitze berührte dies Ende, die andere den Längsschnitt etwa in der Mitte der Muskellänge. Der Strom war verkehrt. Ging ich mit der Thonspitze am Längsschnitt dem oberen Ende näher, so verstärkte sich natürlich der Spannungsunterschied. Dies hatte nichts zu bedeuten, da es auch bei wirklich positivem unteren Ende hätte geschehen müssen. [593] Rückte aber die Spitze am Längsschnitt bis in geringe Entfernung vom scheinbar positiven unteren Ende, so verrieth sich die Täuschung dadurch, dass der Strom sich umkehrte und nun das untere Ende schwach negativ erschien. So wurde deutlich, dass es hier bloss um Verschiebung des Aequators bis hart an den minder wirksamen Querschnitt sich handelte.

Den Strom in einem dem Muskel irgendwie angelegten Bogen kann man auffassen als Resultante zweier Componenten, deren jede einer Strömung vom Längsschnitt nach dem einen der beiden Querschnitte entlehnt ist. Die von einem bestimmten Querschnitt ausgehende Componente wird um so stärker sein, je negativer der Querschnitt, um so schwächer, je stärker dessen parelektronomische Schicht; sie wird ihren Sinn ändern, wenn diese Schicht so entwickelt ist, dass der Querschnitt wirklich positiv gegen Längsschnitt sich verhält. Von diesem Gesichtspunkte lässt der Strom in dem einem regelmässigen Muskel angelegten Bogen sich wohl vergleichen mit dem Strom in dem einem Gastroknemius angelegten Bogen. Unter geeigneten Umständen müsste in einem dem Aequator und dem Ende *A*, oder auch zwei Längsschnittspunkten des regelmässigen Muskels angelegten Bogen beim Anätzen des Endes *B* der Strom abnehmen, wie der vom Achillesspiegel ausgehende Strom in einem dem Gastroknemius angelegten Bogen abnimmt, wenn der Kniespiegelstrom

entwickelt wird. Umgekehrt, Zunahme müsste dort wie hier erfolgen, wenn man ein Mittel besässe, den entgegenwirkenden Stromzweig zu schwächen, wie am Gastroknemius Verbesserung der Nebenschliessung es gewährt.

Ich habe solche Versuche am Gracilis und Semimembranosus angestellt. Ich spannte den Muskel in der kleinen Streckvorrichtung aus, legte dem Ende *A* die eine Thonspitze, die andere einem Längsschnittspunkt an. Nach compensirtem Strom ätzte ich Ende *B* mit Kreosot oder verdünnter Milchsäure. Wirkung im Sinne des Stromes dieses Querschnittes zeigte sich aber nur, wenn die Längsschnittsspitze nahe dem Querschnitte sich befand. Der Erfolg war undeutlich, wenn die Spitze am Aequator lag. Es scheint danach fast, als ob am Sartorius, wo die Längsschnittsspitze bis nahe an das untere [594] Ende negativ gegen dieses sich verhielt, die elektromotorische Leistungsfähigkeit nicht, wie hier stets vorausgesetzt wird, überall dieselbe, sondern in den oberen Abschnitten des Muskels kleiner gewesen sei.

Um den vom Ende *B* ausgehenden Stromzweig zu schwächen, giebt es kein brauchbares Mittel. Auf Grund von Thatsachen, die ich anderswo mittheilen werde,[1] könnte man dazu an Tetanisiren des Muskels denken, doch ist hier damit nichts anzufangen. Es entsteht aber die Frage, was in dieser Beziehung am regelmässigen Muskel mit Nebenschliessung auszurichten sei; ob der von einem senkrechten Querschnitte *B* ausgehende Strom zwischen Ende *A* und einem Längsschnittspunkt oder zwischen zwei Längsschnittspunkten sinke, wenn Querschnitt *B* in verdünnte Steinsalzlösung getaucht werde. Theoretisch lässt sich darüber Nichts sagen, ohne über den Bau des Muskels als Elektromotor auf Erörterungen einzugehen, die hier zu weit führen würden. Der Versuch giebt stets geringe Abnahme des Stromes vom eingetauchten Querschnitt aus, gleichviel ob die Lösung den Längsschnitt erreiche oder nur den Querschnitt berühre, z. B. diesem nur ein mit Lösung getränkter Bausch genähert werde.

Wenn der Querschnitt nicht eben blieb, sondern, wie es oft geschieht, in der Mitte sich hervorwölbte, wurde der Erfolg unsicher. Dies brachte mich darauf, die Wirkung des Eintauchens auch auf schrägen künstlichen Querschnitt zu versuchen. Die Thonspitzen wurden dem Muskel oberhalb der durch den schrägen Querschnitt gebildeten stumpfen Ecke verschieden hoch angelegt. War der Muskel so aufgestellt, dass der schräge Querschnitt wagerecht nach unten sah, so wurde beim Eintauchen auch stets die dem Querschnitte nähere Thonspitze stärker positiv: ein Ergebniss, welches ich in etwas anderer Form schon vor Jahren

---

[1] S. unten Abh. XXVII. §. XX—XXII.

erhielt.[1] Dagegen wurde diese Spitze viel stärker negativ, wenn bei senkrechtem Muskel [595] der durch den schrägen Schnitt entstandene dreieckige Zipfel eingetaucht wurde; um so stärker, je tiefer das Eintauchen geschah.

Letzterer Erfolg erklärt die Unsicherheit der Wirkung bei hervorgewölbtem Querschnitt. Er selber aber ist zunächst völlig dunkel, und das Ergebniss bei Berührung senkrechten Querschnittes mit einem Bausche widerspricht älteren Versuchen an Nerven, wo zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten Wirkung im Sinne desjenigen Querschnittes erschien, dem ich einen mit Eiweiss getränkten Faden so anfügte, dass der Faden eine unwirksame Verlängerung des Nerven bildete.[2] Ich habe diese Angelegenheit, die hier von keiner Wichtigkeit ist, und deren Erledigung noch weitläufige Untersuchungen erfordert, für jetzt auf sich beruhen lassen.

Gleichviel wie sie einst sich aufkläre, Positivität des einen sehnigen Endes eines regelmässigen Muskels genügt also nicht, um daraus Umkehr der elektromotorischen Kraft dieses Endes durch Parelektronomie zu erschliessen. Doch lassen sich Bedingungen angeben, unter denen dieser Schluss gerechtfertigt wäre. Er wäre es, wenn es gelänge, Fälle zu beobachten, in denen der verkehrt wirksame natürliche Querschnitt gegen den Aequator ebenso positiv oder positiver wäre, als der Aequator gegen den gesetzmässig wirksamen Querschnitt. Er wäre es vollends, wenn der Fall vorkäme, dass beide natürliche Querschnitte eines Muskels positiv gegen Längsschnitt sich verhielten.

Beides ist nun in der That, freilich bisher nur am Sartorius, und auch an diesem nur selten, beobachtet worden.

Dazu gesellt sich noch eine andere Wahrnehmung, an welche hier erinnert werden mag. Es kommt bekanntlich am Cutaneus vor, dass nicht allein oberflächliches Anätzen ein sehniges Ende nicht negativ macht, sondern dass auch ein mit dem Messer dem Ende nahe hergestellter Querschnitt noch positiv gegen Längsschnitt sich verhält. Erst in etwas grösse- [596] rer Entfernung vom Ende trifft man negativen Querschnitt. Bei der Länge und Dünne des Cutaneus ist an sich nicht glaublich, dass der scheinbar positive künstliche Querschnitt nur unwirksam war, und der verkehrte Strom der weit entlegenen anderen elektromotorischen Endfläche entsprang. Dies widerlegt sich vollends, und die

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 78. Der Muskel lag auf Bäuschen, und sein schräger künstlicher Querschnitt wurde, meinem damaligen Zweck entsprechend, mit Höllensteinlösung benetzt.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 524. 525. Taf. IV. Fig. 134.

wirkliche Positivität des sehnigen Endes wird erwiesen dadurch, dass im abgeschnittenen sehnigen Ende ein Strom vom künstlichen Querschnitte zum natürlichen im Muskel sich zeigt. Die einzige ungezwungene Auslegung solchen Verhaltens ist, dass in der hier anzunehmenden parelektronomischen Strecke säulenartige Anordnung elektromotorischer Kräfte herrscht, in deren Folge positive Elektricität nach dem sehnigen Ende hin fliesst. Die Andeutung eines ähnlichen Verhaltens kommt auch am Sartorius, der allein ausser dem Cutaneus noch gut darauf zu prüfen ist, insofern vor, als dem sehnigen Ende nahe angelegter Querschnitt gegen Querschnitt der Aequatorialgegend positiv erscheint.[1]

Auch diese Zustände sind mir nur selten begegnet. Doch ist es nicht Seltenheit einer Thatsache an sich, die darauf zu bauen verhindert. Eine vereinzelte Beobachtung wird werthlos dadurch, dass sie unvermittelt ausserhalb bekannter Gesetze steht. Wo dagegen, wie hier, das seltene Ereigniss den theoretisch vorhergesehenen Schluss einer Reihe stufenweise ihm sich nähernder Erscheinungen bildet, und die aus bekannten Gründen wachsende Seltenheit dieser Erscheinungen in der jenes Ereignisses gipfelt: da gehört die Seltenheit selber zu der sich enthüllenden Gesetzmässigkeit, und es lässt darauf hin kein Einwand gegen eine, auch das seltene Ereigniss als wesentliches Endglied umfassende Anschauung sich erheben.

Kommt vollständige Stromumkehr durch Parelektronomie an regelmässigen Muskeln von Natur nur selten vor, so gelingt es um so leichter, an stark parelektronomischen Muskeln sie künstlich dadurch zu erzeugen, dass man die Muskeln tetanisirt. Im Tetanus werden die natürlichen Querschnitte positiv, und bleiben es längere oder kürzere Zeit in beträchtlichem [597] Maasse, wie ich anderswo ausführlicher darlegen will. Dort wird die Entstehung der parelektronomischen Schicht erklärt werden.[2]

## §. X. Schlussbemerkungen.

Obschon aus absteigender Wirksamkeit des Gastroknemius, wie oben sich zeigte, Umkehr der elektromotorischen Kraft des Achillesspiegels durch Parelektronomie nicht unzweideutig folgt, ist also nach Erfahrungen an regelmässigen Muskeln diese Umkehr als höchste Stufe der Parelektronomie doch nicht zu bezweifeln.

Nun entsteht die Frage, ob nicht am Gastroknemius dieser Zustand

---

[1] S. oben S. 166. 194. Anm. 1.

[2] S. unten Abh. XXVII. §. XX—XXII.

auch vorkomme, d. h. bei hoher Parelektronomie der Achillesspiegelstrom im Spiegel wirklich ab- statt aufsteige.

Nothwendig folgt dies aus den Versuchen an regelmässigen Muskeln nicht. Am Gastroknemius gab sich mir noch nichts kund, was auf eine parelektronomische Strecke, statt einer Schicht, schliessen liesse. Vielleicht gehört grössere Länge der Bündel dazu, als sie im Gastroknemius vorkommt, damit statt einer parelektronomischen Schicht eine solche Strecke sich ausbilde; und obschon der Theorie nach die dünnste Schicht genügt, um den Strom umzukehren, könnte in Wirklichkeit die Umkehr doch vielleicht erst durch eine Strecke geschehen, in der verkehrte elektromotorische Kräfte säulenartig angeordnet sind.

Wie wir sahen, würde in der äusseren, unmittelbaren Erscheinung der Zustand umgekehrter Wirksamkeit beider Spiegel von dem oben S. 388 besprochenen sich nicht unterscheiden, in welchem der absteigende Kniespiegelstrom dem aufsteigenden Achillesspiegelstrom gleichkommt oder obsiegt. Aber vielleicht lassen sich Merkmale ersinnen, durch welche beide Zustände von einander zu unterscheiden wären.

Zwei solche Merkmale lassen sich angeben. Mittels der Thonspitzen gelingt es bekanntlich, am Achillesspiegel schwache Ströme von dessen Umfange nach der Mitte nachzuweisen. In der Längsrichtung setzen sich diese Ströme zusammen mit der Resultante aus den Neigungsströmen des Achilles- und des [598] Kniespiegels, woraus eine Verschiebung des negativsten Punktes des Achillesspiegels je nach dem Zeichen der Resultante nach oben oder nach unten entspringt.[1] In der queren Richtung dagegen werden die schwachen Ströme am Achillesspiegel durch die Zustände des Kniespiegels nicht merklich beeinflusst. Am überdehnten, stark absteigend wirksamen Gastroknemius behalten sie ihre Richtung.[2] Fände man sie also verkehrt an stark parelektronomischen, absteigend wirksamen Gastroknemien, so wäre dies ein Beweis dafür, dass die elektromotorische Kraft des Achillesspiegels wirklich ihr Zeichen gewechselt habe.

Das zweite Merkmal ist folgendes. Setzt man in dem oben S. 388 für die Gesammtwirkung des Gastroknemius gegebenen Ausdruck

$$S = n_a (M_a - P_a) - n_k (M_k - P_k)$$
$$P_a > M_a, \quad P_k > M_k,$$

so ist $S$ negativ. Lässt man nun $n_a$ schneller als $n_k$ abnehmen, so wird $S$ nicht mehr im negativen, sondern im positiven Sinne sich ändern.

---

[1] S. oben S. 97. 98.

[2] S. oben S. 314. 315.

Anbringen nebenleitender Massen müsste also dann statt Zunahme Schwächung der absteigenden Kraft erzeugen. Zu dem oben S. 379 besprochenen Fall einer sehr guten Nebenschliessung würde diese Combination als zweite hinzutreten, in der ein absteigender Strom durch Nebenschliessung geschwächt, statt verstärkt, erschiene (s. oben S. 378). Damit ein solcher Erfolg hier entscheide, müsste er also mittels einer Nebenschliessung gewonnen sein, die an einem gewöhnlichen Muskel negativen Zuwachs erzeugt hätte, mittels der Thonhülle, oder einer capillaren Schicht verdünnter Steinsalzlösung.

Bei meinen Bemühungen, mit Hülfe dieser Merkmale obige Frage zu erledigen, stiess ich zunächst wieder auf die Schwierigkeit, die meinen Fortschritt bisher noch jedesmal hemmte, wo ich über die höheren Stufen der Parelektronomie etwas zu erfahren wünschte,[1] den Mangel nämlich an einem Verfahren, diese Stufen sicher herbeizuführen. Seit den Versuchen, die [599] a. a. O. in meinen 'Untersuchungen' beschrieben sind, habe ich höhere Stufen der Parelektronomie so oft angetroffen, ohne die Frösche niedrigeren Temperaturen ausgesetzt zu haben, als der schmelzenden Eises, dass ich an meiner damaligen Meinung, nach welcher sehr tiefe Temperaturen Stromumkehr bewirken, fast irre ward. Bei neueren Versuchen über diesen Punkt habe ich wenigstens erkannt, warum zuweilen Frösche sehr tiefen Temperaturen ausgesetzt werden können, ohne dass ihre Gastroknemien parelektronomisch erscheinen. Wenn die Muskeln entweder oberflächlich gefroren waren, oder wenn die Lymphe in den Lymphräumen es war, findet man die Gastroknemien nicht allein nicht absteigend, sondern sogar stark aufsteigend wirksam. Sichtlich ist dann die parelektronomische Schicht entweder durch Gefrieren, oder durch das beim Aufthauen der Eiskrystalle in den Lymphsäcken sich bildende Wasser zerstört. Letztere Erklärung ist dieselbe, welche Hr. Hoppe-Seyler von der Zerstörung des Stroma's der Blutscheiben durch wiederholtes Gefrieren und Aufthauen des Blutes gab.[2] In's Klare wird man über diese Dinge erst kommen, wenn man einmal Gelegenheit hat, mit einer Windhausen'schen Eismaschine beliebige Temperaturen unter Null beliebig lange herzustellen.

Bei alledem ist es mir einigemal gelungen, am Achillesspiegel stark parelektronomischer Gastroknemien verkehrte quere Ströme zu beobachten, und in einem einzelnen Fall Abnahme der absteigenden Wirkung bei Anbringen einer Thonhülle, wie sie sonst nur Zunahme erzeugt. Der

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 133.

[2] Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse u. s. w. Berlin 1865. S. 304.

Gastroknemius zeigte ursprünglich — 98$^{\text{cgr}}$. Diese Wirkung stieg, wie es mit der absteigenden Wirkung beiläufig oft der Fall ist, ohne erkennbare Ursache auf — 130$^{\text{cgr}}$. Anbringen einer Thonhülle verminderte sie auf — 52$^{\text{cgr}}$. Nach Entfernen der Thonhülle: — 191; — 228$^{\text{cgr}}$. In Thon: — 72$^{\text{cgr}}$. Abermals ohne Thon: — 268$^{\text{cgr}}$. Dies sind, wohl bemerkt, viel stärkere negative Wirkungen, als sie gewöhnlich am Gastro- [600] knemius vorkommen. Ich glaube übrigens nicht, dass das Wachsen der negativen Wirkung am freiliegenden Muskel von — 130$^{\text{cgr}}$ auf mehr als das Doppelte von Verstärkung der parelektronomischen Schicht des Achillesspiegels herrührte, sondern eher, dass die Parelektronomie des Kniespiegels sank. Die Prüfung der queren Ströme am Achillesspiegel lieferte in diesem Falle leider ein verworrenes Ergebniss.

Es ist nun aber gewiss beachtenswerth, dass bereits Hr. Herm. Munk zu einer Zeit, wo er von Sinn und Bedeutung dieser Thatsache nichts wissen konnte, die absteigende Wirkung stark parelektronomischer Gastroknemien durch Entfernen einer Nebenschliessung wachsen sah.

Hr. Hermann hatte bekanntlich beim Entblössen des Gastroknemius am sonst unversehrten Frosche zuweilen einen aufsteigenden Ausschlag zwischen einer Zehenspitze und einem passend gewählten höheren Punkte beobachtet und so gedeutet, als übe die Entblössung sogleich auf den Achillesspiegel einen verderblichen Einfluss, durch den der Muskel erst elektromotorisch wirksam werde. Hr. Munk zeigte, dass Hr. Hermann einen Umstand übersehen habe. Der positive Ausschlag rührt daher, dass die im Lymphsack des Unterschenkels befindliche Lymphe Nebenschliessung für den Gastroknemiusstrom bildet, daher beim Ausfliessen der Lymphe der aufsteigende Strom wächst. Wenn aber der Gastroknemius durch starke Parelektronomie absteigend wirkt, hat das Ausfliessen der Lymphe zuweilen Hebung des absteigenden Stromes oder absolut negativen Zuwachs zur Folge.[1]

Eine capillare Schicht dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung vermag, wie oben S. 378 gezeigt wurde, die elektromotorische Resultante des Gastroknemius in negativem Sinne bedeutend zu ändern, unter Umständen sie umzukehren. Um Hrn. Munk's Erklärung der Wirkung ausfliessender Lymphe vollends zu sichern, schien es jetzt zweckmässig, die Leitungsgüte der Lymphe mit der der Lösung zu vergleichen. Es standen mir dazu nur Winterfrösche zu Gebote. Einer darunter war [601] von selber hydropisch genug, um aus seinen Lymphsäcken die nöthige Menge Lymphe schöpfen zu können. Zwei andere machte ich

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 555. 556.

nach Hrn. Bidder's Rathschlag künstlich hydropisch, indem ich sie mit so kleinen Gaben Curara's vergiftete, dass sie mit gelähmten Lymphherzen noch über eine Woche lebten.[1] Ich sog die Lymphe mit der Pravaz'schen Spritze auf. Die Spritze gewährte zugleich ein bequemes Mittel, ein am einen Ende mit Thon geschlossenes 40 $^{mm}$ langes, 1·6 $^{mm}$ im Lichten weites Glasrohr mit Lymphe zu füllen. Nachdem das Rohr auch am anderen Ende mit Thon geschlossen worden, brachte ich es zwischen die Thonschilder der Zuleitungsgefässe, und bestimmte, wie bei den oben S. 373 ff. beschriebenen Widerstandsmessungen, den Ausschlag des Bussolspiegels, welchen der Oeffnungsstrom eines Schlitteninductoriums durch den Kreis hindurch erzeugte. Darauf wurde das Lymphrohr durch ein genau gleiches, ebenso mit Thon geschlossenes Rohr ersetzt, welches aber Steinsalzlösung enthielt, und wiederum der Ausschlag bestimmt. Schliesslich wurde der Ausschlag bei Schliessung des Kreises ohne Rohre bestimmt, indem zwischen die Thonschilder zwei Thonkügelchen aneinander gepresst wurden, die den Thonpfröpfen der Rohre möglichst gleich kamen. Natürlich war dies kein sehr vollkommenes Verfahren; die nahe Uebereinstimmung der Ausschläge in mehreren Versuchen, die mit derselben Lymphe, sonst aber mit Erneuerung allen Materiales angestellt wurden, lehrte jedoch, dass es für den Zweck genügte. Den Widerstand der Lymphe des einen der beiden curarisirten Frösche fand ich = 1·03, wenn der Widerstand der Lösung = 1·00 gesetzt wird, ein Unterschied, der zu vernachlässigen ist.[2] Der Widerstand der Lymphe des hydropischen Frosches erwies sich als etwas bedeutender, nämlich = 1·16. Endlich der Widerstand der Lymphe des zweiten curarisirten Frosches war noch grösser, = 1·27. Immerhin war auch dieser von gleicher Ordnung mit dem der Lösung, über 1·6 mal kleiner als der des [602] Muskels, und 3·3 mal kleiner als der des Thones. (Vergl. oben S. 375. 376). Uebrigens versäumte ich nicht, durch den Versuch mich zu überzeugen, dass diese Lymphe, statt der Lösung mit dem Pinsel auf parelektronomische Gastroknemien gebracht, deren elektromotorische Resultante gleich der Lösung veränderte.

Hr. Munk hat schon damals die Schwierigkeiten entwickelt, welche für Hrn. Hermann's Theorie des Muskelstromes aus der ihm von mir mitgetheilten Thatsache erwachsen, dass durch Anbringen einer Nebenschliessung der Kniespiegelstrom am Gastroknemius sichtbar und die aufsteigende in eine absteigende Resultante verwandelt wird.

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 603. 604.

[2] Das Mittel aus zehn Ausschlägen mit dem Lymphrohre war 90·8, das mit dem Lösungsrohre 92·4 $^{sc}$, also nur um etwa $^1/_{60}$ grösser.

Erstens nämlich lehrt diese Thatsache, dass um auf Präexistenz des Muskelstromes gerichtete Prüfungen vorzunehmen, man keine unglücklichere Wahl treffen konnte, als die des Gastroknemius. Wie man jetzt sieht, können an diesem Muskel die elektrischen Gegensätze fast in voller Stärke bestehen, ohne dass zwischen Haupt- und Achillessehne oder sonst zwei verschieden hohen Punkten am Muskel ein Strom bemerkbar zu sein braucht. Der aus seiner natürlichen Umgebung entfernte Muskel kann aufsteigend wirken, während *in situ* der Muskel wirkungslos war, oder gar absteigend wirkte.

Zweitens zeigen diese Versuche auch unmittelbar, dass am Kniespiegel die elektrischen Gegensätze unter Umständen vorhanden sind, wo von schädlichen äusseren Einwirkungen nicht wohl die Rede sein kann. Der Kniespiegel ist im Inneren des Muskels vor Trockniss, Berührung mit Luft oder Hautsecret geschützt, und es scheint undenkbar, dass die elektromotorischen Kräfte, als deren Sitz er mittels eines an sich ganz harmlosen Kunstgriffes erkannt wird, nicht präexistiren sollten, dass sie durch schädliche Einflüsse erst im Versuch sollten entstanden sein (vergl. oben S. 386. 387).

Hr. Hermann wird jetzt vielleicht behaupten wollen, dass der Strom nicht vom ganzen Kniespiegel ausgehe, sondern, wie bei Anätzung des Sehnenstreifes der Tibialfläche, nur von den oberen Enden der oberflächlichen Bündel, von denen man sich eher vorstellen kann, dass sie schädlichen Einflüssen zu- [603] gänglich seien. Da er indess als Stromquell die Berührung lebender und absterbender Muskelsubstanz ansieht, so muss er alsdann erklären, warum nur die Enden der Bündel und nicht auch diese selber in ihrem Verlaufe jenen schädlichen Einflüssen unterliegen, denen sie doch in allen Punkten ihrer Länge gleich sehr ausgesetzt sind. Nur indem er der Reihe seiner Hypothesen *ad hoc*, deren keine er bisher wahrscheinlicher zu machen vermochte, die neue Hypothese *ad hoc* einer besonderen Verletzbarkeit der Bündelenden hinzufügt, kann er, wie mir scheint, dieser misslichen Lage sich entziehen.

Hr. Victor Hensen, der neuerdings, wenn auch aus anderem Gesichtspunkte als Hr. Hermann, die Lehre von der Parelektronomie umzugestalten versucht hat,[2] nimmt eine solche besondere Verletzbarkeit der Bündelenden an, und sucht sie durch die weitere Annahme zu begründen, dass die Bündel an den Enden wachsen, hier also die Muskelsubstanz „so eben erst gebildet, noch unvollendet" sei. Er fragt sich, wie der Muskel in die Länge wachse? Dies geschehe weder durch Untergang alter und Entstehung neuer Fasern, denn man sehe keine degenerirten

---

1 Arbeiten aus dem Kieler physiologischen Institut. 1868. Kiel 1869. S. 17.

Fasern; noch durch Vermehrung der Querscheiben im Verlaufe der Bündel, denn die Querscheiben zeigen überall gleiche Beschaffenheit: also erfolge Verlängerung der Fasern an ihren Enden. Man weiss indess, was solche Deductionen in unserer Wissenschaft werth sind. Wo uns jede andere Möglichkeit ausgeschlossen scheint, findet die Natur noch einen ungeahnten Ausweg. Niemand, auch Hr. Hensen nicht, hat bisher an den Bündelenden mit Sicherheit etwas Besonderes bemerkt. Selbst dann wäre noch viel zu thun um zu beweisen, dass die bemerkte Besonderheit vom Wachsen der Bündel an ihren Enden herrühre, dass deshalb die Bündel dort verletzbarer seien, und dass dies die von mir der parelektronomischen Schicht zugeschriebenen Erscheinungen erkläre.[1]

Es giebt, ohne jede Hypothese, längst eine handgreifliche [604] physiologische Thatsache, welche die Vermuthung besonderer Verletzbarkeit der Bündelenden meines Erachtens schlagend widerlegt. Es ist die, dass Gastroknemius und Triceps femoris[2] unter gleichen Umständen sehr viel (bei 0° etwa zehnmal) länger als Gracilis und Semimembranosus die Trennung vom Organismus überleben.[3]

Auf dem Unterschied in der Masse der Muskeln kann der Unterschied in der Dauer des Ueberlebens nicht beruhen. Die Massen des Gracilis, Semimembranosus, Gastroknemius und Triceps verhalten sich zu einander etwa wie 1·00 : 1·12 : 1·31 : 1·75. Der Unterschied namentlich zwischen den Massen des Semimembranosus und des Gastroknemius ist zu klein, um den Unterschied in der Dauer des Ueberlebens zu erklären; auch leben Gracilis und Semimembranosus nicht länger, wenn man sie als Einen Muskel präparirt. Der Unterschied kann auch nicht daher rühren, dass man die regelmässigen Muskeln leicht beim Zurichten an den Enden verletzt (s. oben S. 389); denn absichtlich viel schwerer verletzte Gastroknemien und Tricipites leben weit länger als auf das Sorgfältigste dargestellte regelmässige Muskeln. Er wird nicht dadurch herbeigeführt, dass wegen des Nerveneintrittes am Muskelkopfe den untersten Gastroknemiusbündeln eine längere Nervenstrecke erhalten bleibt, als den Bündeln der regelmässigen Muskeln. Denn in einer auf diesen Punkt gerichteten Untersuchung gelangte Hr. Munk zu dem merkwürdigen, noch nicht weiter aufgeklärten Ergebniss, dass Gastroknemien, denen ein langes Stück Nerv gelassen wird, früher sterben als solche,

[1] Vergl. oben S. 142 ff.

[2] D. h. dessen innerster Kopf. Vergl. oben S. 136.

[3] Aem. du Bois-Reymond, De Fibrae muscularis Reactione ut Chemicis visa est acida. Berolini MDCCCLIX. 4°. p. 15. Nota 2; — s. oben S. 10. Anm. 2; — S. 329.

deren Nerv kurz abgeschnitten ist.[1] Der einzige Unterschied zwischen den kurz- und langlebigen Muskeln, der hier in Betracht kommen kann, ist, dass Gastroknemius und Triceps sehr viel kürzere Fasern, dafür aber sehr viel grösseren Querschnitt haben [605] als Gracilis und Semimembranosus. Die Bündel des Gastroknemius sind dreieinhalb- bis siebenmal kürzer als der Muskel selber,[2] und da die Länge des Gastroknemius nur dreiviertel von der Länge der regelmässigen Muskeln beträgt, fünf- bis neunmal kürzer als diese Muskeln. Ginge am mechanisch unversehrten Muskel der Tod von der Sehne aus, so müssten Gastroknemius und Triceps schneller sterben, als Gracilis und Semimembranosus. Wenn auch bei weitem die meisten Gastroknemiusbündel nur mit einem Ende an freie Sehnenhaut, den Achillesspiegel, stossen, so müsste bei gleicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Vorgang des Absterbens die fünf- bis neunmal kürzeren Bündel von einem Ende aus doch in $\frac{1}{2\cdot 5}$ bis $\frac{1}{4\cdot 5}$ der Zeit durchlaufen, die derselbe Vorgang von beiden Enden aus in den regelmässigen Muskeln dazu braucht. Es ist wohl im Gegentheil klar: eine Begrenzung, deren vergleichsweise grössere Ausdehnung an der Oberfläche des Muskels diesem längeres Ueberleben sichert, kann nicht für ihn die Todespforte, die *Pars minoris resistentiae* sein. Der Grund, weshalb die langfasrigen Muskeln kurzlebig, die kurzfasrigen langlebig sind, ist der, dass in ersteren alle Bündel vom Längsschnitt aus schädlichen Einflüssen schneller zugänglich sind, während das Innere der kurzfasrigen Muskeln, durch die derben Sehnenspiegel gegen Verletzung vom Querschnitt aus geschützt, vom Längsschnitt aus erst spät von den schädlichen Einflüssen erreicht wird.

Es fehlt somit nicht nur an jedem sicheren theoretischen Grunde, den Bündelenden besondere Verletzbarkeit zuzuschreiben, sondern diese Annahme ist auch im unmittelbaren Widerspruch mit Thatsachen. Hr. Hermann dürfte also auch nicht behaupten, dass der durch Nebenschliessung sichtbar gemachte Kniespiegelstrom nur von den oberflächlichen Bündeln herrühre. Dann aber präexistiren die elektrischen Gegensätze an dem in der Tiefe des Muskels jedem schädlichen Einfluss entzogenen Kniespiegel.

Es wäre übrig, vom gegenwärtigen Stand unserer Kennt- [606] niss aus, die verschiedenen Erscheinungsweisen des Gastroknemiusstromes in der Parelektronomie genauer auf ihre Ursachen zurückzuführen. Dies

---

[1] Possner's Allgemeine Medicinische Central-Zeitung. XXIX. Jahrgang. 28. Jan. 1860. S. 57.

[2] S. oben S. 71.

ist jetzt darum schwierig, weil der Möglichkeiten, zwischen denen zu entscheiden wäre, so viele wurden. Ich habe daher auch nur Muthmaassungen hier mitzutheilen.

Sinkt die Kraft beider Spiegel in gleichem Maasse, so muss die vorhandene, auf- oder absteigende Resultante in demselben Maass abnehmen. Wenn Aufenthalt der lebenden Thiere in der Kälte die Kraft des natürlichen Querschnittes vermindert, ergiebt sich also daraus keine absteigende Wirkung des Muskels, sondern um diese zu erklären ist anzunehmen entweder, dass der Achillesspiegel mehr als der Kniespiegel durch Kälte leide, oder dass seine Kraft sich umkehre, oder endlich dass die Kraft beider Spiegel sich umkehre, der Achillesspiegel aber die Oberhand habe. Ich sah ziemlich oft, dass die schwach aufsteigende Kraft stark parelektronomischer Gastroknemien, welche zwischen den Zuleitungsgefässen im Kreise der Bussole sich befanden, noch weiter sank, ja sich umkehrte (vergl. oben S. 396). Man braucht dabei nicht in allen Fällen an sinkende Kraft des Achillesspiegels, oder wachsende Kraft des Kniespiegels zu denken. Die Erscheinung erklärt sich vielleicht auch einfach daraus, dass die Muskeln kalt aufgelegt wurden, und ihr Widerstand mit der Erwärmung sank. Geschieht dies überall gleichmässig, so kann die Folge nur Verstärkung der vorhandenen Resultante sein. Bei der nach der Achillessehne zu verjüngten Gestalt des Muskels ist aber denkbar, dass durch die schnellere Erwärmung der unteren Muskelhälfte die Nebenschliessung für den Achillesspiegelstrom schneller wuchs als die für den Kniespiegelstrom, und so dieser begünstigt wurde.

Kürzehalber habe ich in dieser Abhandlung meist nur den Gastroknemius genannt. Dieselben Erfolge lassen sich aber am Triceps erhalten, der bekanntlich in der Hauptsache dem Gastroknemius ähnlich gebaut ist [s. oben S. 54]. Auch hier bewirken Milchsäurescheibchen um so grössere Zuwachse in aufsteigendem Sinne, je tiefer sie angelegt werden. Auch hier kehrt sich [607] der aufsteigende Strom um, wenn der Muskel in Thon gehüllt wird, ja noch leichter als am Gastroknemius, z. B.:

Triceps frei $+154^{\text{cgr}}$; in Thon — 63;
„ + 94 „ ; „ „ —100;
„ + 71 „ ; „ „ —116;
u. s. f.

Daher auch alle am Triceps angestellten, auf Präexistenz des Muskelstromes bezüglichen Versuche Nichts bedeuten.

---

XXV.

# Ueber die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung.

## Erste Abtheilung.[1]

**Neue Untersuchung der negativen Schwankung des Muskelstromes im Tetanus und bei Einzelzuckungen, bei dessen Ableitung von künstlichem und natürlichem Querschnitt an regelmässigen und unregelmässigen Muskeln, mittels der Bussole und des stromprüfenden Schenkels. Widerlegung von Hrn. Meissner's Theorie der elektrischen Erscheinungen am Muskel bei der Zusammenziehung.**

### §. I. Einleitung.

Es war zu erwarten, dass die von mir beschriebenen neuen Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken, auf den Strom des thätigen Muskels angewendet, ebenso zu neuen Wahrnehmungen und Einsichten führen würden, wie sie dies in der Lehre vom Strome des ruhenden Muskels und Nerven, vom Elektrotonus des Nerven und von der negativen Schwankung des Nervenstromes schon gethan hatten. Gegenwärtige Abhandlung wird zeigen, wie in meinen Händen diese Erwartung sich erfüllt hat. Mehrere der jetzt hier möglichen Beobachtungen sind durch andere Forscher vorweg genommen worden. Ich werde ihre Ergebnisse, welche theils die meinen beleuchten und ergänzen, theils selber des Lichtes bedürftig es von den meinen erst empfangen, gehörigen Ortes berücksichtigen.

Abgesehen von einigen besonderen Kunstgriffen, die gelegentlich besprochen werden, waren die Methoden der Untersuchung die bekannten.

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 517.

Der kreisrunde Bussolspiegel von 20$^{mm}$ Durchmesser war nur 0·8$^{mm}$ dick und 2·414$^{gr}$ schwer. Wenn seine Bewegung eben aperiodisch ($\varepsilon = n$) war, betrug die Beruhigungszeit beim Fall aus einer Ablenkung von 450$^{sc}$ [518] nur 5·2″;[1] sie war also gewöhnlich noch kleiner. Die Empfindlichkeit der Bussole liess sich leicht so erhöhen, dass der Nervenstrom bis zu 275$^{sc}$ Ablenkung gab, der Muskelstrom die Theilung weit aus dem Gesichtsfelde warf; und diese Empfindlichkeit konnte, freilich auf Kosten der Kürze der Beruhigungszeit, noch gesteigert werden. Ebenso grosse Empfindlichkeit haben wohl schon die Instrumente anderer Forscher besessen. Dagegen erwuchs mir bei Beobachtungen, wo es vorzüglich um Auffassung rasch wechselnder Zustände des thierischen Elektromotors sich handelt, ein unschätzbarer Vortheil aus der Abwesenheit von Schwingungen und aus der Kürze der Beruhigungszeit.

Das Tetanisiren geschah mittels eines auf Helmholtz'sche Art eingerichteten Schlitteninductoriums, dessen Schläge dem Nerven durch die Thonspitzen meiner unpolarisirbaren Zuleitungsröhren zugeführt wurden. Getrieben wurde das Inductorium durch eine Säule aus zwei Daniell; die primäre Rolle enthielt keine Drähte. Einzelne Zuckungen, im Folgenden im Gegensatz zum Tetanus Einzelzuckungen genannt, wurden erzeugt indem der Hauptkreis eines anderen Schlitteninductoriums mittels des Quecksilberschlüssels geöffnet wurde. Durch Schliessen und Oeffnen des Kreises in kürzeren oder längeren Zeitintervallen konnte eine mehr oder minder gedrängte Reihe von Zuckungen hervorgerufen werden; diese Art der Reizung, bei welcher man am Myographion oft Doppelreizungen bemerkt, wird künftig als unvollkommenes Tetanisiren bezeichnet. Durch Umlegen einer Wippe wurde die Anordnung für gewöhnliches Tetanisiren in die für Einzelzuckungen und unvollkommenes Tetanisiren verwandelt. Eine ähnliche Anordnung zu gleichem Zwecke hat Hr. Meissner beschrieben.[2]

---

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 284 ff. — Der hier angewendete Bussolspiegel war der dort (S. 309) mit I bezeichnete.

[2] Henle und Pfeufer, Zeitschrift für rationelle Medicin. 3. R. 1862. Bd. XV. S. 47. — Seit ich, auf Grund der Theorie voltaëlektrischer Inductionsströme, die Mittel erörterte, den Verlauf des Anfangs- und Endstromes, und somit bei gleicher Richtung der Ströme im Nerven, deren physiologische Wirkung gleich zu machen (Monatsberichte der Akademie. 1862. S. 372 [s. oben Bd. I. S. 228 ff.]), gab Hr. Bernstein, bei Gelegenheit seiner schönen Untersuchung über negative Schwankung im Elektrotonus, einen neuen Weg an, dies zu erreichen, an den ich nicht gedacht hatte, der sich aber leicht ähnlich mathematisch begründen lässt, wie die von mir besprochenen Methoden. Er besteht darin, zur Hauptrolle eine so gute dauernde Nebenschliessung anzubringen, dass ihr Widerstand verschwindet gegen den des

[519] Wo nicht das Gegentheil gesagt ist, sind die Versuche an [520] dem von mir sogenannten M. gracilis vom Oberschenkel des

---

Kettenzweiges, d. h. der Leitung, welche Kette und Unterbrechungsstelle enthält. Dann finden Anfangs- und Endstrom zwischen den Enden der Rolle annähernd gleichen Widerstand und haben also auch annähernd gleichen Verlauf [Vergl. oben Bd. I. S. 256]. Hr. Bernstein hat diese Bedingung auf dreierlei Art zu erfüllen gesucht. Einmal brachte er zwischen den Enden der Rolle Platinplatten in angesäuertem Wasser an, während der Kettenzweig nur einen Daniell enthielt (Archiv für Anatomie u. s. w. 1866. S. 602). Das andere Mal waren es Kupferplatten in schwefelsaurer Kupferoxydlösung; der Kettenzweig enthielt eine Säule aus 6—8 kleinen Grove (Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie u. s. w. I. Jahrgang. 1869. S. 183. 184; — Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme. Heidelberg 1871. S. 18). Endlich ersetzte auch Hr. Bernstein die Flüssigkeitszellen durch einen im Zickzack gebogenen, mehrere Fuss langen, dünnen Kupferdraht; in diesem Falle befanden sich im Kettenzweige, ausser zwei Elementen, die Windungen eines Elektromagnets (Untersuchungen u. s. w. S. 101). Als Beweis dafür, dass es ihm gelungen sei, den Verlauf beider Ströme gleich zu machen, führt Hr. Bernstein an, dass die negative Schwankung des Nervenstromes bei beiden Richtungen der erregenden Inductionsströme gleiche Grösse zeigte.

Ich muss bekennen, dass ich mich dabei nicht beruhigt hätte. Namentlich im ersten Falle hätte ich den Widerstand der Zelle mit angesäuertem Wasser von vorn herein nicht für klein genug gehalten, auch wäre die Polarisation der Platinelektroden mir bedenklich erschienen. Die negative Schwankung kann bei beiden Richtungen der Inductionsströme gleiche Grösse zeigen, ohne dass Anfangs- und Endstrom gleich stark erregen. Wenn nämlich der schnellere und stärkere von beiden (unter den gewöhnlichen Umständen der Endstrom) die abgeleitete Strecke anelektrotonisirt, so kann die geringere elektrotonisirende Wirkung jenes Stromes durch die Ueberlegenheit des Anelektrotonus über den Katelektrotonus aufgewogen werden.

Ich selber versuchte, das Bernstein'sche Verfahren in's Werk zu setzen, indem ich das Rheochord als Nebenschliessung zu einer viergliedrigen Daniell'schen Säule anbrachte. Aber sogar wenn ich das Rheochord bis auf eine halbe seiner Einheiten kürzte, wobei ein gewöhnliches Schlitteninductorium bei ganz aufgeschobener Rolle kaum noch Zuckung des Nervmuskelpräparates erzeugte, erhielt ich noch keine Gleichheit der durch Anfangs- und Endstrom erregten, auf der berussten Platte des Myographions verzeichneten Zuckungen.

Uebrigens erfuhr ich dabei, trotz dem ansehnlichen Widerstand im Kettenzweige, auf's Neue, wie schon bei meinen Versuchen zur Prüfung des Helmholtz-schen Verfahrens (s. oben Bd. I. S. 252), dass grössere oder kleinere Geschwindigkeit des Schliessens und Oeffnens, gleichviel ob mit dem festen oder dem Quecksilber-Schlüssel, grössere Unterschiede in der Stärke der Zuckungen bedingt, als die, welche von dem noch vorhandenen Unterschied im Verlaufe beider Ströme herrühren. Dass die Feder des Inductoriums die Herstellung und Unterbrechung des Stromes immer nur sehr ungleichmässig besorgt, selbst wenn der Funke auf den Trennungsfunken der Kette beschränkt ist, folgt aus der Art, wie beim Annähern der Nebenrolle an die Hauptrolle die ersten Zuckungen auftreten. Nimmt man hinzu, dass, wie ich bereits oben Bd. I. S. 254 bemerklich machte, das Inductorium zu rasch

[521] Frosches angestellt, als dem regelmässigsten der hier brauchbaren Froschmuskeln.[1] Die Zurichtung dieses Muskels mit seinem Nerven und seinen knöchernen Ursprüngen oder 'Knochenstücken' ist im Vergleiche zu der des Gastroknemius und Sartorius, die man sonst zu Nervmuskelpräparaten verwendet, leider sehr umständlich. Folgende Vorschrift führt am besten zum Ziele.

1. Wie stets, wenn es um Darstellung von Oberschenkelmuskeln sich handelt, darf die Haut des Beines nicht ohne Weiteres abgezogen werden. Sie wird mit dem Cutaneus femoris, unter sorgfältiger Schonung des Gracilis, vom Becken nach dem Knie zu abgelöst, und dann erst vom Ober- und Unterschenkel abgestreift. Der Sartorius wird entfernt.

2. Nach Durchschneidung der Mm. pyriformis und ileo-coccygeus[2] wird der N. ischiadicus von oben und von unten her bis zur Stelle bloss-

---

arbeitet, um einzelnen voltaëlektrischen Inductionsströmen von der Natur des Anfangsstromes Zeit zu lassen, völlig abzulaufen, so scheint es hoffnungslos, mittels des Inductoriums congruente Wechselströme erzeugen zu wollen. Vollends wird es unmöglich sein, damit die Aufgabe zu lösen, um die es sich hier handelt, nämlich Erregungen von gleicher Beschaffenheit beliebig einzeln, oder in der Zeit mehr oder minder nahe einander folgend, hervorzurufen. Die einzige Art dies zu erreichen, besteht, soviel ich sehe, darin, mittels eines Systemes von Unterbrechungsrädern, wie ich es oben Bd. I. S. 255 beschrieb, eine Reihe einander in passendem Zeitabstande folgender, gleichbeschaffener Stromstösse zu erzeugen, und aus dieser Reihe, bei beständig bleibender Geschwindigkeit des Systemes, nach Bedürfniss einen einzelnen Stromstoss, oder durch Auslassen immer je eines, je zweier, .... Stösse eine Reihe von geringerer Anzahl von Stössen in der Zeiteinheit auszuscheiden. Die Stromstösse müssen voltaëlektrische Oeffnungsschläge sein, damit man sie der Stärke nach abstufen könne, ohne das Verhältniss ihrer Ordinaten zu ändern (oben Bd. I. S. 240). Um die Schwankungen der Form der Curve unschädlich zu machen, in der beim Oeffnen der Widerstand bis zum Unendlichen wächst, muss im primären Kreis ein grosser Widerstand sich befinden, und somit eine grosse elektromotorische Kraft thätig sein. Ich lasse dahingestellt, ob man nicht jetzt hier, wie in Hrn. Bernstein's Differential-Rheotom, die festen Metalle mit Vortheil durch Quecksilber ersetzen könnte.

Die Herstellung einer solchen Vorrichtung zum Tetanisiren, in der einen oder anderen Form, wird ein in mehrfacher Beziehung schwieriges und ein kostspieliges Unternehmen sein. Die Zeit wird kommen, wo man ohne Nachtheil nicht länger davor wird zurückweichen können. Vor der Hand genügten hier noch die rohen Mittel, die ich im Text als bei dieser Untersuchung von mir angewandt schilderte, und der Zweck gegenwärtiger Anmerkung war nur, diesen Stand der Dinge darzulegen.

[1] S. oben S. 68. 69.

[2] Bis auf die von mir oben S. 193 Anm. 2. angezeigten Ausnahmen folge ich hier der von Hrn. Ecker in seiner „Anatomie des Frosches“ (Braunschweig 1864) angenommenen Namengebung, nur sage ich Ileo-coccygeus statt Coccygeo-iliacus.

gelegt, wo die Oberschenkeläste abgehen. Die nicht zu Gracilis, Semitendinosus und Semimembranosus gehenden Zweige werden durchschnitten.

3. Das knorpelige Hufeisen, welches den Semimembranosus an den Condylus tibiae heftet, wird abgelöst, und der Semimembranosus nach hinten und zur Seite geschlagen. Die Nervenzweige zu ihm, dem Semitendinosus und Gracilis liegen nun, [522] durch das Pigment der mit ihnen verlaufenden Blutgefässe kenntlich gemacht, klar vor Augen. Der Semimembranosus wird von unten her bis zum Becken vorsichtig vom Gracilis getrennt, sein Nerv abgeschnitten.

4. Der Ischiadicus wird in passender Entfernung unter dem Ursprunge der Zweige für Gracilis und Semitendinosus durchschnitten, sein Stamm in Verbindung mit jenen Aesten bis zum nah benachbarten Hilus beider Muskeln vollends freigemacht, auf dem Hilus zu einem Päckchen zusammengefaltet, und so der Nerv in Sicherheit gebracht.

5. Nun bringt man das spitze Scheerenblatt unter die Sehne des Gracilis und Semitendinosus, das stumpfe unter den Oberschenkel, und durchschneidet letzteren dicht über dem Knie; der Unterschenkel dient als Handhabe, während man den Gracilis aus seinen übrigen Verbindungen, besonders mit den Mm. adductor magnus und longus, bis zum Becken löst.

6. Man durchschneidet die Sehnen, durch die der Semitendinosus an die Tibia, und die beiden Sehnen, durch die er an das Becken geheftet wird. Er löst sich dann leicht vom Gracilis, den man zwischen Becken und Unterschenkel sanft anspannt, und es hat keine Schwierigkeit mehr, seinen Nerven von dem des Gracilis zu unterscheiden und ohne Gefahr für letzteren zu beseitigen.

7. Es bleibt übrig, die Knochenstücke zuzuschneiden und möglichst von Muskelstümpfen zu reinigen, was namentlich am Becken recht zeitraubend ist.

Die ganze Präparation kann ich, trotz meiner Uebung darin, nicht leicht schneller als in einer Viertelstunde, vom Tode des Frosches an, beenden, während Hr. Kühne nach seiner Angabe es dahin gebracht hatte, den Sartorius mit seinem Nerven in weniger als zwei Minuten zu präpariren.[1]

Es wird im Folgenden nützlich sein, zwischen der Schwankung des Stromes, wie sie im Bussolkreis erscheint, und der Schwankung der elektromotorischen Kraft selber leicht und kurz zu unterscheiden. Erstere soll deshalb, wo irgend ein Zweifel [523] obwalten könnte, Strom-

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 319.

schwankung, letztere Kraftschwankung genannt werden. Die Kraftschwankung ist also die der Stromschwankung zu Grunde liegende Schwankung des Spannungsunterschiedes zwischen zwei bestimmten Punkten der Muskeloberfläche; bei gleicher Kraftschwankung kann die Stromschwankung nach den abgeleiteten Punkten der Muskeloberfläche, dem Widerstande des Kreises und noch anderen Umständen verschieden sein.

Im Allgemeinen ist die den Tetanus begleitende Schwankung des Stromes negativ, und daher unter dem Namen der negativen Schwankung schlechthin bekannt. Wie die Folge lehren wird, kann sie aber auch positiv sein, und es wird sich lohnen, folgende Begriffe und Ausdrücke festgestellt zu haben.

Nennt man, wie ich kürzehalber bekanntlich zu thun pflege, die Richtung des Stromes vom Längs- zum Querschnitt des Muskels im Bogen die positive, so ist eine Schwankung des Stromes, welche im Sinn einer Verkleinerung des positiven Stromes geschieht, als absolut negativ, eine Schwankung, welche im Sinn einer Vergrösserung desselben Stromes geschieht, als absolut positiv zu bezeichnen, gleichviel ob der gerade bestehende Strom positiv oder negativ ist. Dieselben Ausdrücke finden Anwendung auf irgendwie von Muskeln, Muskel-Stücken oder -Complexen abgeleitete Ströme, insofern daran als positiv die Richtung zu bezeichnen ist, welche der gleichmässigen Negativität aller Querschnitte entspricht. Die Stromrichtung im Bogen von einer stumpfen zu einer spitzen Muskelrhombusecke z. B. würde als positiv zu bezeichnen sein. Relativ positiv und negativ sind dagegen Schwankungen, die den gerade bestehenden Strom vergrössern und verkleinern. Doppelsinnig endlich nenne ich eine Schwankung, bei der positive und negative Ausschläge in irgend welcher Zahl und Ordnung einander folgen.

Noch auf eine Redeweise, deren ich im Folgenden mich bediene, will ich aufmerksam machen. Man sieht zwar im Fernrohr die Theilung am Faden vorbei sich bewegen; doch ist klar, dass die relative Bewegung des Fadens und der Theilung es ist, auf die es ankommt, und dass man an Stelle [524] der Bewegung der Theilung am Faden vorbei die Bewegung des Fadens über die Theilung hin setzen kann. Ich ziehe es manchmal vor, letztere anzugeben, und von dem Faden auf der Theilung wie von der Multiplicatornadel auf ihrer Theilung zu reden. Wirklich gewöhnt sich das Auge, die Theilung, wenn nicht ihre Bewegungen zu heftig sind, unbewegt und den Faden scheinbar darüber hingleitend zu erblicken.[1]

---

[1] Vergl. übrigens oben Bd. I. S. 156.

## §. II. Die Erscheinungsweise der negativen Stromschwankung bei Ableitung des Stromes von künstlichem (thermischem) Querschnitt und bei Anwendung der neuen Methoden wird beschrieben und die Grösse der so erhaltenen Schwankung gemessen.

Mein Bestreben ging zunächst dahin, ein Verfahren zu finden, wie die negative Schwankung des vom künstlichen Querschnitt abgeleiteten Muskelstromes erforscht werden könne, da dies die einzige Art ist der Verwickelung zu entgehen, die aus der Schräge und Parelektronomie natürlicher Querschnitte entspringt. Die Schwierigkeit dabei besteht darin, dass man den Muskel, wenn auch nur an einem seiner Enden künstlicher Querschnitt mit dem Messer angelegt ist, nicht mehr durch Ausspannen unbeweglich genug machen kann, um sicher zu sein, dass die Veränderung der elektromotorischen Kraft nur von der Schwankung herrühre, nicht von der Verschiebung der Ableitungspunkte am Muskel.

Ich versuchte zuerst dies zu erreichen, indem ich den querdurchschnittenen Muskel mit gläsernen Nadeln, d. h. mit spitz ausgezogenen Stücken Thermometerrohr, auf einem gefirnissten Korke feststeckte; der Strom wurde mittels der Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren vom natürlichen Längsschnitt und künstlichen Querschnitt abgeleitet. Allein dies Verfahren führte höchstens bei dem schwachen Sartorius [525] zum Ziele, der sich hier sonst nicht gerade als Versuchsgegenstand empfiehlt. Bei kräftigeren Muskeln, wie dem Gracilis oder Semimembranosus, blieb namentlich am Querschnitt eine Verschiebung gegen die Thonspitze zurück, welche sichere Wahrnehmungen innerhalb enger Grenzen vereitelte. Zuweilen haftete der berührte Querschnittspunkt an der Spitze, während rings der Querschnitt so sich zurückzog, dass eine kegelförmige Hervorragung entstand, deren Gipfel jener Punkt bildete. Alsdann erfolgte bei Einzelzuckungen, und im Beginne des Tetanisirens vor der negativen Schwankung, eine positive Schwankung als Ausdruck des vom Kegelmantel ausgehenden Neigungsstromes.[1] Dass dies deren Ursprung war, liess in jedem einzelnen Falle dadurch sich darthun, dass ebenso starke oder stärkere positive Schwankung entstand, wenn am ruhenden Muskel durch Zurückziehen der Thonspitze der Querschnitt kegelförmig emporgehoben wurde.

Ich gab daher die Versuche mit mechanisch angelegtem künstlichen Querschnitt auf, und stellte den Querschnitt thermisch her. Ich liess dem

---

[1] Vergl. oben S. 187.

Muskel seine Knochenstücke, tauchte das zur Ableitung bestimmte Ende, soweit es natürlichen Querschnitt darbot, etwa eine Minute lang in 50° C. warme dreiviertelprocentige Steinsalzlösung,[1] trocknete es mit Fliesspapier, brachte den Muskel wohlabgekühlt in die 'kleine Streckvorrichtung',[2] und spannte ihn mässig aus. Dann legte ich einem Aequatorpunkte des natürlichen Längsschnittes die eine Thonspitze an; auch bei stärkster Zusammenziehung bleibt sie hier unverrückt genug, um die aus der etwa übrig bleibenden Ver- [526] schiebung entspringende Störung meist vernachlässigen zu dürfen.[3] Die Ableitung vom Querschnitt geschah oft vom entsprechenden Knochenstücke mittels einer anderen Thonspitze oder des Thonschildes eines der unpolarisirbaren Zuleitungsgefässe. Die elektromotorische Wirkung des Knockenstückes, d. h. der Unterschied der Kräfte bei Ableitung des Stromes von jenem Stücke, und von den Sehnen selber, ist fast stets zu vernachlässigen. Sie ist es ohnehin, wo es sich um den Vergleich von Schwankungen der Kraft handelt, an denen sie keinen Theil hat. Man kann sie aber auch thatsächlich dadurch aus dem Spiele bringen, dass man die Thonspitze dem sehnigen Ende unmittelbar, nach innen von der Elfenbeinplatte der Streckvorrichtung, anlegt.

Ebensowenig wie die elektromotorische Wirkung des Knochenstückes kommt die etwa noch übrige Wirkung der wärmestarren Strecke in Betracht. Diese Strecke stellt aber nunmehr für den Querschnitt auch bei lebhaftester Zusammenziehung eine unveränderliche Ableitung dar, so dass durch diesen Kunstgriff das elektrische Verhalten des künstlichen Querschnittes arbeitender Muskeln erforschbar wird. Man kann Aehnliches erreichen, indem man den natürlichen Querschnitt mit einer ätzenden Flüssigkeit bepinselt, d. h. ihn chemisch zu künstlichem Querschnitt macht. Der thermische Querschnitt, wie wir ihn nennen wollen, hat aber den Vorzug, dass er, obschon als isotherme Fläche convex gegen die Sehne, ungleich weniger schräg ist als der chemische Querschnitt, welcher der Gestalt des natürlichen folgt, und dessen elektromotorische Wirkung daher stets zum Theil auf Neigungsströmen beruht.[4]

---

[1] Es empfiehlt sich, heissere Lösung zu nehmen als nöthig, um den Theil des Muskels wärmestarr zu machen, der die Temperatur der Lösung angenommen hat. Der Muskel und sein während des Eintauchens des einen Endes in die Lösung am Hilus zusammengefalteter Nerv (vergl. oben S. 406. 4.) scheinen unter kürzerem Eintauchen in heissere Lösung weniger zu leiden, als unter längerem Eintauchen in minder heisse Lösung.

[2] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 86; — oben Bd. I. S. 119; — diesen Band, S. 313. 367.

[3] Vergl. oben S. 195.

[4] S. oben S. 313.

Es war die Frage, ob der am einen Ende wärmestarre Muskel sich noch tetanisiren lasse. Ich fand, dass dies mindestens so gut gehe, wie das Tetanisiren eines querdurchschnittenen oder angeätzten Muskels, und dass es nicht einmal nöthig sei, während des Eintauchens des Muskels in die heisse Lö- [527] sung den Nerven vor der Strahlung und den Dämpfen zu schützen, wie ich anfangs durch allerlei künstliche Vorkehrungen zu thun suchte. Sogar ein an beiden Enden wärmestarr gemachter Muskel lässt sich noch vielemal vom Nerven aus tetanisiren, und liefert dabei, wenn man den Strom einerseits vom Aequator, andererseits vom einen, oder auch zugleich von beiden Knochenstücken ableitet, ausgiebige negative Schwankung. Dass ein thermischer Querschnitt an sich dem Muskel nicht mehr schadet als ein mechanischer, erklärt sich leicht. Am mechanischen Querschnitt bildet sich schnell eine abgestorbene Schicht, die mit der wärmestarren Schicht wesentlich einerlei ist. Dass sie am thermischen Querschnitt dicker ist als am mechanischen, kann nur gleichgültig sein.

Die beste Art, die negative Schwankung zu beobachten, besteht darin, vor dem Tetanus den Strom des Muskels zu compensiren.

Wenn auch die Grösse des alsdann beim Tetanisiren erfolgenden Ausschlages vom Widerstande des Bussolzweiges abhängt, kann bei ursprünglich bestehender Compensation doch keine Veränderung dieses Widerstandes, z. B. durch Veränderung des Widerstandes des Muskels, einen Ausschlag herbeiführen. Selbst völliges Verschwinden des Widerstandes des Bussolzweiges würde, wenn zugleich eine noch so kleine Verminderung der elektromotorischen Kraft des Muskels stattfände, nicht hindern, dass ein negativer Ausschlag erfolgte.

Wenn dagegen beim Tetanisiren ein Ausschlag aus der, durch den nicht compensirten Strom des ruhenden Muskels erzeugten beständigen Ablenkung geschieht, so kann daraus nicht ohne Weiteres auf Veränderung der elektromotorischen Kraft geschlossen werden. Blosse Veränderung des Widerstandes im Bussolkreise kann die Ursache sein; und auch wenn sonst feststände, dass ausserdem eine Verminderung der Kraft im Spiele sei, würde aus dem Sinne des Ausschlages deren Sinn nicht unmittelbar folgen.[1]

[1] Unter Beibehaltung der früher (s. oben Bd. I. S. 178) von mir gebrauchten Bezeichnungen hat man, wenn $\triangle_y$, $\triangle_M$ die von einander unabhängigen Grössen sind, um welche die elektromotorische Kraft $y$ und der Widerstand $M$ des Multiplicator-(Bussol-)Zweiges sich ändern, im Falle der Compensation die Stärke $I$ des in Folge der Aenderung entstehenden Stromes

$$I = \frac{(y \pm \triangle_y)\,C - \varepsilon\lambda}{(M \pm \triangle_M)\,C + (C - \lambda)\lambda}\,.$$

[528] Die Grösse eines von Null ausgehenden Ausschlages hat man ferner unmittelbar vor Augen,[1] während man, wenn der Ausschlag aus beständiger Ablenkung geschieht, um den Erfolg zu übersehen, erst zwei, meist vierstellige Zahlen von einander abziehen muss. Man kann bei beliebiger Empfindlichkeit der Bussole arbeiten, während, wenn die Schwankung aus beständiger Ablenkung erfolgt, diese die Theilung nicht aus dem Gesichtsfelde führen darf. Es braucht endlich nur die mittlere Gegend der Scale in beschränkter Ausdehnung beleuchtet zu sein.

Aus allen diesen Gründen hat man sich im Folgenden, wo nicht das Gegentheil gesagt ist, den Strom des ruhenden Muskels als compensirt vorzustellen. Zur Compensation bediente ich mich, wie immer, wo sein Umfang reicht und keine [529] besonders strenge Maassbestimmung bezweckt wird, des von mir sogenannten runden Compensators in der früher beschriebenen Aufstellung, bei der ein Grad seiner Theilung sehr genau einem achttausendstel Daniell entspricht.[2] In solchen Compensatorgraden wird in den folgenden Beispielen die elektromotorische Kraft in der Ruhe, vor oder nach dem Tetanus, angegeben; die Schwankung selber dagegen aus Gründen, die gleich erhellen werden, nur in Scalentheilen.

Wie kaum gesagt zu werden braucht, befanden sich die Streckvorrichtung und die beiden Paare von Zuleitungsröhren, von denen das eine die tetanisirenden Ströme zu-, das andere den Muskelstrom abführte, in einem mit Wasserdampf gesättigten Raume. Bei der grossen Dünne des Muskelnerven des Gracilis ist diese Schutzmaassregel hier doppelt nothwendig.

Wird nun bei compensirtem Strome, nach abgelesener elektromoto-

---

Der Nenner ist stets positiv, und da $yC = \varepsilon\lambda$, hängt das Zeichen des Ausschlages allein vom Zeichen von $\triangle_y$ ab, und für $\triangle_y = 0$ ist $I = 0$.

War dagegen nicht compensirt, so ist der Unterschied $\triangle_I$ der neuen Stromstärke $I'$ und der ursprünglichen $I$

$$I' - I = \triangle_I = \frac{\pm \triangle_y(M + \lambda) \mp \triangle_M \cdot y}{(M + \lambda)^2 + \triangle_M(M + \lambda)} .$$

Der Nenner ist abermals stets positiv. Der Zähler kann positiv sein auch bei negativem $\triangle_y$, und umgekehrt; und selbst für $\triangle_y = 0$ hat $\triangle_I$ einen je nach dem Zeichen von $\triangle_M$ positiven oder negativen Werth.

[1] Wenigstens wenn man nach meinem Rath (s. oben Bd. I. S. 156) endlich die unbequeme, von den Magnetometer-Beobachtungen herrührende Göttinger Art der Scalen-Theilung mit einer beiderseits von Null ausgehenden Theilung vertauscht und die Scale verschiebbar macht, so dass man vor jedem Versuche den Nullpunkt auf den Faden einstellen kann. Die Werkstatt des Hrn. O. Plath (Sauerwald) liefert Gestelle zur Spiegelablesung mit verschiebbarer Scale nach meiner Angabe.

[2] Vergl. oben S. 241.

rischer Kraft in der Ruhe, der die tetanisirenden Ströme bisher ableitende Schlüssel geöffnet, so geschieht ein negativer Ausschlag, der unter den gewöhnlichen Umständen meiner Versuche bis 300$^{sc}$ betrug. Der Faden verweilt aber keinen Augenblick auf der erreichten Höhe, sondern weicht sogleich erst schneller, dann langsamer zurück. Unterbricht man den Tetanus, so kehrt er schneller, jedoch nicht bis zum Nullpunkte, zurück; vielmehr hinterbleibt stets eine um so grössere Verminderung der Kraft, je heftiger und anhaltender der Tetanus war.

Diese Verminderung ist die schon früher von mir beschriebene Nachwirkung des Tetanus auf die elektromotorische Kraft des Muskels,[1] die sich aber wegen der Ladungen der Platinelektroden damals nicht unmittelbar darstellen liess. Sie wird im Folgenden, und bis auf Weiteres, als Nachwirkung schlechthin bezeichnet. Aus ihr erhebt sich die Kraft nur lang- [530] sam wieder, mit solcher Geschwindigkeit jedoch, dass man anfangs die Theilung am Faden deutlich vorbeiziehen sieht; schwerlich erreicht die Kraft am ausgeschnittenen Muskel je wieder ganz die frühere Grösse.

Die erste Aufgabe, welche jetzt hier sich darbietet, ist, den Betrag der negativen Schwankung als Bruchtheil der ursprünglichen Stromkraft auszuwerthen.

Aus dem eben Gesagten erhellt leider, dass die Hoffnung eitel war, diesen Betrag durch Compensation zu messen, und so die Veränderung des Widerstandes zu eliminiren, die theils aus der nicht ganz beseitigten Formveränderung des Muskels, theils aus der geringen, den Tetanus begleitenden Vermehrung der Leitungsgüte der Muskelsubstanz[2] entspringt. Ausgenommen in seltenen Fällen, die dann in anderer Beziehung nicht allen Forderungen entsprachen, fand ich es unmöglich, durch Zurückdrehen des Compensators dem Faden so schnell mit dem Nullpunkte zu folgen, dass nicht der dabei begangene Fehler unzweifelhaft grösser gewesen wäre, als der, welchen bei Beobachtung ohne Compensation die Widerstandsveränderungen bedingen können.

Man kann nun, um den Betrag der negativen Schwankung zu bestimmen, diese in der That sehr geringfügigen Veränderungen vernachlässigen, und einfach mit dem im Zustande der Compensation durch Tetanisiren erhaltenen Ausschlag in die voraufgehende beständige Ablen-

---

1 Comptes rendus etc. 8 Avril 1850. t. XXX. p. 408; — Annales de Chimie et de Physique. 1850. 3$^{me}$ Série. t. XXX. p. 186; — Monatsberichte der Akademie, 1853. S. 111; — die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851 u. s. w. 1855. S. 758; — Untersuchungen u. s. w. II. Abth. II. S. 151. 291. 356.

2 Untersuchungen u. s. w. Bd. I. Abth. I. S. 82. — Vergl. J. Ranke, Tetanus. Eine physiologische Studie. Leipzig 1865. S. 15. 48.

kung dividiren. Eine bessere Versuchsweise besteht aber darin, die Widerstandsveränderungen des Muskels dadurch unschädlich zu machen, dass man den Widerstand des Kreises vergrössert. Dies geschieht leicht durch feuchte Fäden oder Fliesspapierstreifen, besser durch ein mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung gefülltes Thermometerrohr, das man an beiden Enden mit Thon verschliesst, und zwischen dem einen Knochenstück und dem Thonschild eines Zuleitungsgefässes passend aufstellt. Das von mir angewandte Rohr war $110^{mm}$ lang und hatte $0{\cdot}29^{mm}$ Durchmesser. Der Widerstand dieses Rohres beträgt etwa das 40- [531] fache des Widerstandes des ganzen übrigen Kreises, d. h. des Muskels und der Sehne, des Knochenstückes, Thonschildes, Bausches und Zuleitungsgefässes, der Zuleitungsröhre mit ihrer Thonspitze, und des Bussolgewindes. Der Widerstand des Muskels selber betrug unter diesen Umständen höchstens $^1/_{50}$ des Gesammtwiderstandes des Kreises, uud seine Veränderung im angespannten Zustande, wo die Formveränderung verschwindet, noch kein Tausendstel desselben Widerstandes. Freilich hat dies Verfahren den Nachtheil, dass man die Empfindlichkeit der Bussole steigern muss, wobei die Beruhigungszeit des Spiegels wächst, da es doch hier gerade darauf ankommt, möglichst schnell zu beobachten. Abgesehen davon leistet das Verfahren den gewünschten Dienst, und man sieht so ganz unmittelbar, wieviel das Tetanisiren vom ursprünglichen Strom übrig lässt, oder wieviel die negative Kraftschwankung beträgt.

Die grössten Werthe, die ich auf die eine oder andere Art für die negative Schwankung bei thermischem Querschnitt erhielt, betrugen nur etwas über 0·4 der ursprünglichen Stromkraft.

Dabei ist jedoch zweierlei zu berücksichtigen. Erstens vergehen, wie man sah (s. oben S. 406), vom Tode des Frosches bis zur Vollendung der Präparation allein etwa 15 Minuten. Ueber dem Wärmestarrmachen auch nur eines Endes des Muskels und der weiteren Einrichtung des Versuches geht wieder eine gewisse Zeit hin. Zweitens ist das Starrmachen selber der Leitungsfähigkeit doch eben nicht zuträglich. Jene Zahl sagt also nur, dass die Abnahme der Stromstärke soviel sicher beträgt; wahrscheinlich kann unter den sonst hier obwaltenden Bedingungen die Abnahme auf die volle Hälfte der Stromstärke sich belaufen.

Von Muskeln, die mit Kreosot, Milchsäure ($\bar{L}$ : HO : : 1 : 1) oder Chlorwasserstoffsäure (käufliche ClH : HO : : 1 : 9) angeätzt waren, habe ich keine stärkeren, im Allgemeinen schwächere Werthe für den Betrag der Schwankung erhalten.

In gleicher Weise ein Maass der Nachwirkung anzugeben, ist sehr

schwer, erstens, weil deren Stärke unter Anderem von der Dauer des Tetanus abhängt, mit dessen Fortsetzung sie zuletzt in eine dauernde Schwächung des Stromes des zur Er- [532] schöpfung tetanisirten Muskels übergeht; dann aber und vorzüglich, weil die schnelle Bewegung des Fadens auf der Theilung nach Aufhören des Tetanus so allmählich in die langsame übergeht, die dem Schwinden der Nachwirkung entspricht, dass man nicht weiss, wo die Grenze liegt. Man wird sich aber ein im Allgemeinen hinreichend zutreffendes Bild der Erscheinung machen, wenn man sich zu einer aus dem Zustande der Compensation erfolgenden negativen Schwankung von $200^{sc}$ eine Nachwirkung von $20^{sc}$ vorstellt. Dabei wird angenommen, dass das Tetanisiren nicht länger fortgesetzt wurde, als nöthig, um das Maximum der Schwankung zu erhalten, und, wie überhaupt bisher, dass der Strom von künstlichem Querschnitt abgeleitet wird. Wir werden sehen, dass bei Ableitung von natürlichem Querschnitt die Erscheinungen sehr verschieden sich gestalten.

Fährt man bei compensirtem Strome des ruhenden Muskels mit dem Tetanisiren über das Maximum der Schwankung hinaus fort, so wird die rückgängige Bewegung des Fadens immer langsamer. Zuletzt kommt ein Punkt, wo die Schwankung eine beständige Grösse angenommen zu haben scheint. Hört man aber auf zu tetanisiren, so erfolgt kein weiterer Rückgang mehr, der eine Hebung des Stromes anzeigte, und auf unmittelbar erneutes Tetanisiren auch keine negative Schwankung mehr. Ebensowenig aber findet Zuckung statt. Mit anderen Worten also, das Nervmuskelpräparat ist unter den vorhandenen Umständen unerregbar geworden, und sein Strom erscheint dauernd geschwächt. Erst nach einer Zeit der Ruhe erhält man wieder Zuckung, und dem entsprechend eine Spur von Schwankung. Verfährt man ebenso ohne Compensation, so wird zuweilen die Schwankung, die sich aber dabei nur noch auf wenige Scalentheile beläuft, positiv; sie erscheint aber negativ, sobald man compensirt. Die positive Schwankung rührte also davon her, dass eine Widerstandsverminderung beim Tetanus die Verminderung der elektromotorischen Kraft überwog. Verschiebung der Thonspitze am Längsschnitt kann nicht Grund der Widerstandsverminderung sein, denn erstens zieht sich unter diesen Umständen der Muskel nur noch fast un- [533] merklich zusammen, zweitens wäre unverständlich, weshalb die Verschiebung nicht auch zuweilen Widerstandsvermehrung bedingte. Die Widerstandsverminderung scheint vielmehr einerlei zu sein mit der schon früher unmittelbar von mir nachgewiesenen Verminderung des Widerstandes der Muskelsubstanz im Tetanus (vergl. oben S. 412), welche also bei der Ermüdung langsamer abnehmen würde, als die negative Schwankung, ganz wie nach Ed. Weber die Vergrösserung des Elasticitätscoëf-

ficienten des Muskels bei der Zusammenziehung langsamer sinkt, als sein Bestreben sich zu verkürzen.[1]

Nicht selten hat es den Anschein, als überdaure eine Spur negativer Schwankung bei compensirtem, und positiver Schwankung bei nicht compensirtem Muskelstrome jede sichtbare Gestaltveränderung des Muskels. Der negativen Schwankung kann auch hier noch eine entsprechend kleine Nachwirkung folgen.

Wird nicht länger tetanisirt als nöthig um das Maximum der Schwankung herbeizuführen, so erhält man stundenlang ausgiebige negative Ausschläge. Wenn also in den älteren Versuchen am Gastroknemius die negative Schwankung an demselben Muskel immer nur wenigemal erschien, so lag dies zum Theil daran, dass der Nerv durch die Ionen an den stromzuführenden Platinblechen und durch die Trockniss zu schnell zerstört wurde. Nicht selten sogar sieht man bei künstlichem sowohl wie auch besonders bei natürlichem Querschnitt die negative Schwankung in mehreren aufeinanderfolgenden Versuchen zuerst an Stärke zunehmen; zum Theil unstreitig wegen der bei dem Absterben anfangs wachsenden örtlichen Erregbarkeit der tetanisirten Nervenstrecke.[2]

[534] Ich habe nicht unterlassen, mit meinen jetzigen Hülfsmitteln auf's Neue die Richtigkeit meiner früheren Angabe zu prüfen, dass bei verschiedener Ableitung des Stromes vom Muskel die negative Schwankung der jedesmaligen Stromstärke proportional sei. Im Allgemeinen habe ich dies auch jetzt wieder bestätigt gefunden; doch wird der Erweis eines solchen Satzes in gewissem Sinn um so schwerer, mit je vollkommneren Mitteln man daran geht. Störungen werden bemerkbar, die früher der Wahrnehmung sich entzogen.

Natürlich muss bei dieser Prüfung der Muskel an beiden Enden mit thermischem Querschnitt versehen sein. Die Negativität beider Querschnitte, und die Leistungsfähigkeit beider Enden wird nun nie genau die nämliche sein. Daraus entspringen Abweichungen in der Lage des elektromotorischen Aequators während der Ruhe, und wiederum andere während des Tetanus, welche zu allerlei Abweichungen von obiger Regel führen. Der Aequator ist stets von dem negativeren nach dem minder negativen Ende hin verschoben. Sind die Thonspitzen in der Ruhe

---

[1] Artikel: Muskelbewegung, in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. 2. Abth. Braunschweig 1846. S. 116.

[2] Hr. Lamanski hat einen mit 80 gr belasteten Gastroknemius vom Nerven aus alle drei Minuten tetanisirt, die Hubhöhe gemessen und die zugehörige negative Schwankung bestimmt. Letztere nahm wie die Hubhöhe zuerst zu, dann allmählich ab. Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie u. s. w. Bd. III. 1870. S. 203. 204.

elektromotorisch symmetrischen Punkten angelegt, und zieht sich der Muskel in allen seinen Theilen gleichmässig zusammen, so wird das Gleichgewicht erhalten bleiben. Ist aber die Leistungsfähigkeit des Muskels grösser am negativeren Ende, so verschiebt sich während des Tetanus der Aequator nach diesem Ende hin, da dies stärker an Negativität abnimmt, und die Folge davon ist ein Strom im Muskel in derselben Richtung. Das Umgekehrte würde der Fall sein, wenn das minder negative Ende das leistungsfähigere sein sollte. Bei geometrisch symmetrisch angelegten Spitzen ist alsdann sogar die Möglichkeit positiver Schwankung da.

Auf Störungen dieser Art lassen sich manche der wahrgenommenen Unregelmässigkeiten zurückführen. Doch kommen auch welche vor, für die kein solcher Grund sich angeben lässt. Eine Gesetzmässigkeit ist mir darin bisher nicht aufgefallen. Diese Abweichungen rühren vielleicht daher, dass im Muskel Strecken oder auch Fasergruppen grösserer und kleinerer Leistungsfähigkeit aneinander grenzen, deren Dasein so sich verräth.

Beim Anlegen der einen Thonspitze an die myopolare [535] Nervenstrecke, der anderen an einen dem Nerveneintritt benachbarten Punkt des Muskelumfanges, habe ich auffallend oft eine kleine Schwanknng in dem Sinn entstehen sehen, dass der Nerv positiver wurde, gleichviel ob der Punkt des Muskelumfanges höher, oder tiefer als der Nerveneintritt, oder in gleicher Höhe lag.

### §. III. Erscheinungsweise der negativen Schwankung bei Ableitung des Stromes vom natürlichen Querschnitt. Vom relativ grösseren Betrage der negativen Schwankung bei natürlichem Querschnitt.

Verschieden von der bisher beschriebenen ist die Erscheinungsweise der negativen Schwankung, wenn bei übrigens unveränderter Anordnung des Versuches, die Enden des Muskels nicht zuvor wärmestarr gemacht oder sonst ihrer parelektronomischen Schicht beraubt werden. Wir betrachten zunächst den Fall, wo der Strom vom natürlichen Längs- und Querschnitt regelmässiger Muskeln abgeleitet wird.

Das Erste, was dabei auffällt, ist der im Verhältniss zum Strom in der Ruhe grössere Betrag der Schwankung. Ist nicht compensirt, so stellt sich die Schwankung oft als Umkehr des Stromes dar, d. h. sie führt den Faden auf die der ursprünglichen Ablenkung entgegengesetzte Seite des Nullpunktes. Bei Abwesenheit sowohl von Ladungen der Elek-

troden als von Schwingungen des Magnetes genügt nämlich jetzt das Erscheinen des Fadens jenseit des Nullpunktes, um den Thatbestand der Stromumkehr festzustellen. (Vergl. oben S. 403.) Auch sieht man einen negativen Ausschlag erfolgen, wenn der Muskel wegen Parelektronomie ursprünglich ganz unwirksam ist; dann ist im Vergleiche zum ursprünglichen Strome die Schwankung sogar unendlich gross. Auch wenn der Muskel wegen Parelektronomie schon in der Ruhe negativ wirkt, ist der Ausschlag absolut negativ, so dass er als relativ positiver sich darstellt. (Vergl. oben S. 407.)

Dies sind im Wesentlichen dieselben Erfahrungen, die ich am Gastroknemius schon früher beschrieb, und auf Gründe hin, [536] welche wir noch näher zu prüfen haben werden, dahin deutete, „dass die parelektronomische Schicht keinen Antheil nehme an dem Molecularmechanismus der Zusammenziehung“,[1] eine Folgerung, die ich später, in der zweiten Abtheilung des zweiten Bandes meiner 'Untersuchungen',[2] weiter entwickelte. Ich zeigte insbesondere, dass die negativen Wirkungen, die man von stark parelektronomischen Gastroknemien im Tetanus erhält, nichts bedeuten für die Frage, ob bei der Zuckung der Muskelstrom nur abnehme, oder Null werde, oder sich umkehre; die Frage, wie man es ausdrücken kann, nach der Länge der Zähne der kammförmigen Curve oder Ktenoide, die den zeitlichen Verlauf des Stromes während des Tetanus darstellt. Sie bedeuten dafür nicht mehr als die negativen Wirkungen, die man erfolgen sieht, wenn man den Strom eines mit künstlichem Querschnitt aufliegenden Muskels durch einen fremden Stromzweig compensirt hat, und nun tetanisirt. Die dem Strome vom Längsschnitt durch den Bogen zum Querschnitt entgegenwirkenden Kräfte der parelektronomischen Schicht spielen nach meiner damaligen Auffassung, insofern sie beim Tetanus beständig bleiben, einfach die Rolle jenes fremden Stromes.

Im Jahr 1847 hatte Matteucci, unfähig, seinen Widerspruch gegen den elektrischen Ursprung der secundären Zuckung und seine Hypothese einer neuen, eigenartigen Fernwirkung erregter Nerven länger aufrecht zu erhalten, die von Hrn. Becquerel, dem Vater, herrührende Vermuthung einer die Zuckung begleitenden elektrischen Entladung sich angeeignet.[3] Von diesem Standpunkt aus bekämpfte er meine Lehre von einer negativen Schwankung des Muskelstromes als Ursache der secun-

---

[1] Monatsberichte der Akademie, 1851. S. 396; — Die Fortschritte der Physik in den Jahren 1850 und 1851 u. s. w. Berlin 1855. S. 765.

[2] A. a. O. 1860. S. 147. 148.

[3] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 117.

dären Zuckung. Anfänglich sah er darin nichts als eine ihm dunkle Hypothese. Später lernte er den Versuch anstellen, und nun bestritt er die in meinem Werk enthaltene Angabe, dass die negative Schwankung noch einen erheblichen [537] Bruchtheil der ursprünglichen Kraft bestehen lasse. Ich hatte dies dadurch bewiesen, dass ich den Multiplicatorkreis erst nach Beginn des Tetanus schloss, wobei stets noch ein positiver Ausschlag erfolgte. Durch diese Versuchsweise umging ich die Schwierigkeit, welche für Beantwortung der Frage nach dem Betrag der Schwankung aus der Polarisation der Elektroden entsprang. Als Matteucci mit dieser Frage sich befasste, bedurfte er des von mir angewandten Kunstgriffes nicht mehr, denn nun waren die unpolarisirbaren Elektroden bereits erfunden. Er tetanisirte daher einfach vom Nerven aus Gastroknemien oder auch ganze Oberschenkel vom Frosche, von denen er den Strom mittels eines dem meinigen nachgebildeten Verfahrens ableitete. Matteucci fand so, dass die Muskeln im Tetanus stärker negativ, als in Ruhe positiv wirkten, und schloss daraus, dass die Zuckung von einer am Gastroknemius und Oberschenkel des Frosches absteigenden Entladung begleitet sei. Er wurde in dieser Meinung bestärkt durch die Wahrnehmung, dass, wenn man den Nerven eines stromprüfenden Schenkels $A$ auf einen stromprüfenden Schenkel $B$ lagert, im Augenblick des Hinbettens häufig keine Zuckung erfolgt, während doch $A$ bei Zuckung von $B$ secundär zuckt. Mein Ergebniss aber erklärte Matteucci durch die Annahme, es sei, wenn ich den Multiplicatorkreis während des Tetanus schloss, die Wirkung des Tetanus auf den Strom schon soweit gesunken, dass ich wieder einen positiven Ausschlag erhielt.[1] [538] Hr. Cima[2] und Hr. de la Rive[3] pflichteten Matteucci bei; und

[1] Folgende sind einige der Stellen, an denen Matteucci seine Versuche und Meinungen über diesen Punkt veröffentlicht hat: Comptes rendus etc. 1856. t. XLII. p. 651; — t. XLIII. p. 231. 1053. — L'Institut etc. t. XXIV. No. 1178. p. 266; — No. 1197. p. 427. — Archives des Sciences physiques et naturelles. 1856. t. XXXII. p. 22; — XXXIII. p. 63; — 1859. N. S. t. IV. p. 93. 95. — Philosophical Transactions etc. 1857. p. 136. — Proceedings of the Royal Society. vol. X. p. 344. — Philosophical Magazine etc. 4th Series. 1856. vol. XI. p. 461; — 1857. vol. XIII. p. 454; — 1860. vol. XX. p. 388. — Il Nuovo Cimento ec. 1856. t. IV. p. 177; — 1861. t. XIII. p. 137. — Lezioni di Elettro-Fisiologia. Corso dato nell' Università di Pisa nell' anno 1856 ec. Torino 1856. p. 82; — Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni date in Torino ec. Torino 1861. p. 136.

[2] Antonio Cima, Ricerche intorno ad alcuni punti di Elettro-Fisiologia. Bologna 1858. 4°. (Estratta dal Tomo IX. delle Memorie dell' Accademia delle Scienze p. 5. 131) p. 68 e seg.; — Nuovo Cimento ec. 1859. vol. X. p. 389; — 1860. vol. XI. p. 99. 178.

[3] Traité d'Électricité théorique et appliquée. t. III. Paris 1858. p. 588. 589.

auch in Deutschland wussten die Berichterstatter nicht sich zurechtzufinden und den vermeintlichen Widerspruch zwischen Matteucci's und meinen Angaben zu erklären.[1]

Es war aber in Wirklichkeit gar kein Widerspruch da. Meine erste Angabe vom Jahr 1849, also aus einer Zeit stammend, wo die Parelektronomie des natürlichen Querschnittes noch unbekannt war, bezog sich auf den mit natürlichem Querschnitt aufliegenden, nicht parelektronomischen, oder auf den mit künstlichem Querschnitt aufliegenden Muskel, und die Messungen des vorigen Paragraphen zeigen, dass ich mich dabei nicht getäuscht hatte, dass vielmehr der Tetanus unter diesen oder wenigstens sehr ähnlichen Umständen über die Hälfte der Kraft bestehen lässt. Meine zweite Mittheilung vom Jahr 1851, welche in der Abhandlung über Parelektronomie, [539] wie es scheint, zu sehr versteckt war, bezog sich ausdrücklich nur auf den mit natürlichem Querschnitt aufliegenden, stark parelektronomischen Muskel. Matteucci bekam bei seinen nicht hinreichend vervielfältigten Versuchen nur das letztere Verhalten zu sehen, und legte diesem irrthümlich eine ihm nicht zukommende allgemeine Bedeutung bei. Seine Erklärung des von mir beobachteten positiven Ausschlages beim Schliessen des Kreises nach begonnenem Tetanus ist schon darum falsch, weil das Schliessen innerhalb eines Bruchtheiles einer Secunde nach dem Beginn des Tetanus geschah, zu einer Zeit also, wo von Abnahme des Tetanus die Rede noch nicht sein kann. Gewiss erfolgt oft secundäre Zuckung bei Lagen des secundär erregten Nerven auf dem primär zuckenden Muskel, in die der Nerv gebracht werden konnte, ohne durch den Strom des ruhenden Muskels erregt zu werden. Allein dies erklärt sich leicht theils aus der grossen Geschwindigkeit, mit der die negative Schwankung eintritt, theils daraus, dass auch ein durch Parelektronomie in der Ruhe stromloser Muskel im Tetanus negativ wirksam wird.

Damit ist der, wie man sieht, nur auf Missverständniss beruhende Anstoss beseitigt, der so lange hier bestand. Dass dies nicht schon in der 1860 erschienenen Abtheilung meines Werkes geschah, da Matteucci mit seiner Einrede doch bereits 1856 hervortrat, kam daher, dass 1856 die Bogen des Werkes, auf denen dieser Gegenstand besprochen wird, schon gedruckt waren.

---

[1] Meissner, Bericht über die Fortschritte der Anatomie und Physiologie im Jahre 1856. In Henle's und Pfeufer's Zeitschrift u. s. w. 1857. 3. R. Bd. I. S. 382. — Rosenthal, Fortschritte der Physik im Jahre 1858. Berlin 1860. Bd. XIV. S. 536; — Fortschritte im Jahre 1860. Berlin 1862. Bd. XVI. S. 536. — Vergl. auch die unzulänglichen Betrachtungen Hrn. Chauveau's in Brown-Séquard's Journal de la Physiologie etc. 1860. t. III. p. 549. 550.

Jetzt aber ist hier noch etwas Anderes von grosser Wichtigkeit zu bemerken. Meine älteren Versuche waren ausschliesslich am M. gastroknemius angestellt. Durch einen eigenthümlichen Zufall ist jedoch, wie ich seitdem erkannte, der Gastroknemius untauglich, um daran etwas über die negative Schwankung am Muskel mit natürlichem Querschnitt oder am parelektronomischen Muskel auszumachen. Er ist so beschaffen, dass die oben S. 416. 417 beschriebenen Erscheinungen an ihm die Folge sein können der Parelektronomie, und die ihnen bisher beigelegte Bedeutung haben können, dass sie möglicherweise aber auch ganz anders zu erklären sind. Die Umstände, [540] auf denen dies beruht, finden sich in meiner Abhandlung 'Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen auf den Strom des M. gastroknemius des Frosches'[1] ausführlich dargelegt.

Dort habe ich gezeigt, dass der von Haupt- und Achillessehne abgeleitete Strom des ruhenden unversehrten Gastroknemius die algebraische Summe von vier Componenten ist. Diese sind: 1. der Neigungsstrom des Achillesspiegels, wie er ohne parelektronomische Schicht wäre; seine aufsteigende Kraft nennen wir $+ n_a M_a$, wo $n_a < 1$ die Schwächung ausdrückt, welche diese Kraft in Folge der Nebenschliessung durch die Muskelmasse erfährt; 2. der Neigungsstrom der parelektronomischen Schicht desselben Spiegels; seine absteigende Kraft nennen wir $- n_a P_a$; 3. der Neigungsstrom des Kniespiegels, wie er ohne parelektronomische Schicht wäre; seine absteigende Kraft nennen wir $- n_k M_k$, wo $n_k < n_a$ die Schwächung ausdrückt, welche diese Kraft in Folge der Nebenschliessung durch die Muskelmasse erfährt; 4. der Neigungsstrom der parelektronomischen Schicht desselben Spiegels; seine aufsteigende Kraft nennen wir $+ n_k P_k$. Die Gesammtwirkung des Gastroknemius ist daher

$$S = n_a (M_a - P_a) - n_k (M_k - P_k).$$

Nach unseren früheren Voraussetzungen war $M_k - P_k = 0$; die Wirkung des Kniespiegels wurde vernachlässigt. Wenn dann $S \gtreqless 0$ war, musste $M_a \gtreqless P_a$ sein, und wenn beim Tetanisiren der Muskel negativ wirksam, oder stärker negativ wirksam wurde, so liess dies keine andere Deutung zu, als dass $M_a$ stärker abnahm als $P_a$. Wenn es in den damaligen, vergleichsweise rohen Versuchen schien, als sei die negative Schwankung mit natürlichem Querschnitt so gross wie mit künstlichem, so musste geschlossen werden, wie ich wirklich schloss, dass $M_a$ allein abnehme, $P_a$ aber beständig bleibe.

Wie man sieht, ist jetzt noch eine andere Möglichkeit da. $S$ kann

---

[1] S. oben S. 364.

von Null aus negativ, oder wenn es schon negativ ist, negativer werden, nicht allein dadurch, dass $M_a < P_a$ wird, oder dass $M_a$ im Vergleich zu $P_a$ abnimmt, sondern auch da- [541] durch, dass bei positiv bleibendem Werthe von $M_a — P_a$ der Werth von $M_k — P_k$ relativ grösser wird. Die absolut negative Schwankung beim Tetanisiren des Gastroknemius beruht also vielleicht nur darauf, dass, während $M_a$ und $P_a$ für sich, $M_k$ und $P_k$ auch für sich in demselben Verhältniss an der Schwankung sich betheiligen, aus irgend einem Grunde $M_k$, $P_k$ zusammen dies in geringerem Verhältniss thun als $M_a$, $P_a$. Mit anderen Worten, es würde einfach im Tetanus der absteigende Kniespiegelstrom dem aufsteigenden Achillesspiegelstrom obsiegen.

Es musste also hier nunmehr derselbe Schritt geschehen, wie in der Lehre von der Parelektronomie. Die am Gastroknemius beobachtete Positivität des natürlichen Querschnittes bei hoher Parelektronomie erschien zweifelhaft, sobald erkannt worden war, dass man es im Gastroknemiusstrom, auch ohne Parelektronomie, zu thun habe mit dem Unterschied eines auf- und eines absteigenden Stromes. Die Entscheidung, und zwar im Sinne der früheren Lehre, welche also unerschüttert blieb, wurde dadurch herbeigeführt, dass die Beobachtung des in der Parelektronomie positiven natürlichen Querschnittes, statt am Gastroknemius, an einem regelmässigen Muskel angestellt wurde. Denselben Weg haben wir, wie gesagt, auch hier zu beschreiten. Durch die in das Zustandekommen des Stromes zwischen Haupt- und Achillessehne gewonnene Einsicht ward zweifelhaft ob die absolut negative Schwankung des bereits negativ wirksamen Gastroknemius den ihr bisher zugeschriebenen Sinn habe. Wir müssen also suchen, diese Erscheinung in eindeutiger Gestalt am natürlichen Querschnitt regelmässiger Muskeln zu beobachten.

Auf den Gebrauch des M. gracilis müssen wir dabei verzichten, weil, früheren Auseinandersetzungen gemäss, Positivität seiner sehnigen Enden gegen natürlichen Längsschnitt nicht vorkommt.[1] Dagegen können wir uns für unseren gegenwärtigen Zweck des M. sartorius sehr wohl bedienen. Positivität des einen seiner Enden, namentlich des unteren Zipfels, gegen natürlichen Längsschnitt, ist eine gewöhnliche Erscheinung; [542] aber auch Positivität seiner beiden Enden zugleich kommt nicht selten vor. Vor dem Cutaneus, an dem dies auch der Fall ist, zeichnet aber den Sartorius der Parallelismus seiner Bündel, so wie der Besitz eines sicher darstellbaren, wenn auch zarten Nerven aus.[2]

---

[1] S. oben S. 389.

[2] Um die immerhin mühsame Zurichtung dieses Nerven entbehrlich zu machen, versuchte ich Sartorien unmittelbar dadurch zu tetanisiren, dass, während sie vom

Die Art, diesen Nerven in Verbindung mit dem Muskel zuzurichten, ist von Hrn. Kühne im Archiv für Anatomie u. s. w. 1859, S. 317—319, ausführlich beschrieben. Ich änderte für meinen Zweck sein Verfahren dahin ab, dass ich zuerst den unteren spitzen Zipfel des Muskels unterhalb des Ansatzes der letzten Fleischbündel mit einem Faden umschnürte, mittels dessen ich den Zipfel, ohne ihn zu berühren, handhaben und befestigen konnte: da es mir vor Allem darauf ankam, den natürlichen Querschnitt nicht zu verletzen. Die Immobilisirung des Muskels geschah auf einer gefirnissten Korkplatte. Durch die kurze breite dünne obere Sehne stach ich gläserne Nadeln (s. oben S. 408). Der Faden am unteren Zipfel des Muskels wurde in einen Schnitt am Rande der Korkplatte geklemmt, und es war mit seiner Hülfe leicht, dem schwachen Muskel die geeignete Spannung zu geben.

Jetzt wurde die eine Thonspitze dem Längsschnitt, die andere dem sehnigen Ende angelegt. Beim Tetanisiren des Nerven erfolgte negative Schwankung; und wenn der Strom Null oder verkehrt, d. h. das sehnige Ende neutral oder positiv gegen Längsschnitt erschien, war die Schwankung relativ positiv und absolut negativ, so dass der früher auf die Versuche am Gastroknemius gegründete Schluss bestätigt schien.

Hier aber gilt es nunmehr die gleiche Vorsicht zu beob- [543] achten wie in Bezug auf die Parelektronomie selber. In der mehrfach angeführten Abhandlung machte ich aufmerksam darauf, dass scheinbare Positivität eines Endes allein gegen Längsschnitt nicht ausreiche, um in aller Strenge darauf die Behauptung der Stromumkehr zu gründen. Die Positivität kann daher rühren, dass das beobachtete Ende $A$ neutral oder nur wenig negativ, das andere Ende $B$ aber sehr stark negativ ist.[1] So auch hier. Die scheinbar relativ positive Schwankung könnte darauf beruhen, dass der Strom des Endes $B$ beim Tetanus weniger abnähme als der des Endes $A$. Um diesen Verdacht zu entkräften, muss an beiden Enden desselben Sartorius relativ positive Schwankung des verkehrten Stromes, d. h. absolut negative Schwankung beobachtet werden.

Diese Beobachtung gelang vollkommen,[2] und der Verlauf der Unter-

---

einen natürlichen Ende abgeleitet wurden, ich am anderen Ende künstlichen Querschnitt anlegte, und diesen Ammoniakdämpfen aussetzte. Es stellten sich aber dabei verwirrende Umstände ein, welche mich zum Aufgeben dieses Verfahrens um so mehr bestimmten, als, wie die nächste Folge lehren wird, Versuche an nur einem der beiden natürlichen Enden eines Muskels hier nicht volle Beweiskraft haben.

[1] S. oben S. 390.

[2] Beispiel. Sartorius. Die eine Spitze unverrückt am elektromotorischen Aequator, der mit dem geometrischen Aequator nahe zusammenfällt. Mit der anderen Spitze am unteren Zipfel — 65 cgr absteigend. Tetanus: — 20 sc absolut negativen,

suchung ist also hier der gleiche gewesen, wie in der Lehre von der Parelektronomie. Die Behauptung, dass in der Parelektronomie der natürliche Querschnitt positiv gegen den Längsschnitt werde, und die Behauptung, dass in demselben Zustand die negative Schwankung als relativ positive, absolut negative erscheine, gründeten sich beide auf Beobachtungen am Gastroknemius. Die Beweise für beide wurden durch die später gewonnene Einsicht in das Zustandekommen des Gastroknemiusstromes, wie sie in der angeführten Abhandlung dargelegt sich findet, erschüttert. Aber diese Beweise [544] erhielten für beide ihre Sicherheit zurück, indem sie auf die formell einander entsprechenden Beobachtungen an regelmässigen Muskeln gestützt wurden.

## §. IV. Erscheinungsweise der negativen Schwankung bei Ableitung des Stromes vom natürlichen Querschnitt. Fortsetzung. Von ferneren Eigenthümlichkeiten dieser Erscheinungsweise, und insbesondere vom absolut kleineren Betrage der negativen Schwankung bei natürlichem Querschnitt.

Wir fahren nun in der Untersuchung der negativen Schwankung bei Ableitung des Stromes vom natürlichen Querschnitt fort. Die folgenden Versuche sind wieder am Gracilis nach den oben beschriebenen Methoden angestellt.

Als erste Eigenthümlichkeit der negativen Schwankung bei natürlichem Querschnitt haben wir im vorigen Paragraphen ihren relativ grösseren Betrag erkannt, womit es zusammenhängt, dass sie als absolut negative auftreten kann.

Eine zweite Besonderheit, welche sogleich auffällt, wenn man die negative Schwankung am unversehrten Muskel beobachtet, ist die vergleichsweise stärkere Nachwirkung und deren grössere Dauer.[1] Die Nachwirkung kann hier die Hälfte der Schwankung betragen, ja es kommen

---

relativ positiven Ausschlages. Mit derselben Spitze am oberen Ende — 58 $^{cgr}$ aufsteigend. Tetanus: — 25 $^{sc}$ relativ positiven, absolut negativen Ausschlages. Faden kehrt beim Nachlass des Tetanus wegen Nachwirkung, und weil der Strom des ruhenden Muskels aus unkekanntem Grunde wächst, nur unvollständig zurück; bei erneutem Tetanisiren 12 $^{sc}$ ebenso gerichteten Ausschlages. Nun wird dies Ende mit Kreosot geätzt. Es entsteht ein absteigender Strom von + 225 $^{cgr}$, beim Tetanus ist der Ausschlag relativ und nach wie vor absolut negativ, aber er beträgt —45 $^{sc}$, weil es um künstlichen Querschnitt sich handelt (s. unten S. 425).

[1] Nach dem hier Gesagten sind die Angaben über die Nachwirkung in meinen „Untersuchungen“ Bd. II. Abth. II. S. 154 zu ergänzen und zu berichtigen.

ziemlich oft Fälle vor, welche unten noch weiter besprochen werden, wo beim Aufhören des Tetanus der Strom kaum merklich wieder zunimmt, und nach einer Ruhepause nur unverhältnissmässig kleine negative Schwankung erfolgt. Nichts ist häufiger, als einen stark parelektronomischen Muskel, der entweder nur schwach positiv wirkte oder ganz unwirksam war, durch Nachwirkung zeitweise negativ wirksam werden zu sehen. Wird er dann von Neuem tetanisirt, so stellt sich die absolut negative Schwankung als relativ positive dar, gleich als wäre der Muskel wegen hoher Parelektronomie negativ wirksam.

[545] Eine dritte Eigenthümlichkeit der negativen Schwankung vom natürlichen Querschnitt aus bezieht sich auf den Verlauf der Schwankung. Selten sieht man hier, wie es bei künstlichem Querschnitt der Fall ist, den Faden stetig, erst geschwinder, dann langsamer, der neuen Gleichgewichtslage zueilen. Meist ist die Bewegung des Fadens eine stossweise; er geht vorwärts, etwas zurück, abermals vorwärts, nochmals zurück, oder er steht eine Weile still, und erst nach mehreren Secunden entschliesst er sich gleichsam noch eine grössere oder geringere Strecke langsam fortzuschreiten.

Aber diese Besonderheiten treten sämmtlich an Bedeutung zurück gegen eine vierte, welche sich mit Sicherheit jedoch nur beobachten lässt, wenn man am nämlichen Muskel die negative Schwankung zuerst bei natürlichem, dann bei künstlichem Querschnitt untersucht.

Zerstört man die parelektronomische Schicht am Querschnitt, indem man mit einem Pinsel Kreosot oder Säure auf das sehnige Ende streicht, compensirt auf's Neue, und tetanisirt nun, so ist mit einem Male die negative Schwankung auffallend geändert.

Erstens geht jetzt der Faden ohne Zögern, stetig und im Ganzen viel schneller dem negativen Maximum entgegen.

Zweitens ist die Nachwirkung flüchtiger und im Vergleich zur negativen Schwankung kleiner geworden. Zum Theil kann dies freilich seinen Grund darin haben, dass sie durch das noch andauernde Wachsen des Stromes unter dem Einfluss des Aetzmittels verdeckt wird. Doch reicht dieser Umstand nicht aus, um den grossen, oft in dieser Beziehung bemerkbaren Unterschied zu erklären.

Drittens ist die negative Schwankung relativ, d. h. im Vergleich zum Strome des ruhenden Muskels kleiner geworden. Wie wir sahen, beläuft sie sich bei künstlichem Querschnitt auf höchstens 0·4 der Kraft, während bei natürlichem Querschnitt sie nicht bloss unter Umständen den Strom des ruhenden Muskels, der ja Null sein kann, unendlich übertrifft, sondern auch, wenn dieser Strom verkehrt ist, als relativ positive Schwankung erscheint.

[546] Diese drei Veränderungen der negativen Schwankung durch Aetzen des sehnigen Endes liessen nach dem Vorigen sich vorhersehen. Es zeigt sich nun aber auch noch viertens, und dies ist ein Punkt von grosser Bedeutung, dass die negative Schwankung bei künstlichem Querschnitt die Schwankung bei natürlichem Querschnitt regelmässig, und oft sehr beträchtlich, an absoluter Grösse übertrifft. Mit anderen Worten, nach dem Aetzen beträgt die negative Schwankung einen kleineren Bruchtheil eines so viel stärkeren Stromes, dass sie selber dabei bedeutend wächst.[1]

Es versteht sich, dass bei diesen Versuchen die Thonspitzen am Muskel und am Nerven und die Nebenrolle auf ihrem Geleise unverrückt bleiben. Es wird an der Anordnung nichts geändert, als dass der innerhalb der Streckvorrichtung leicht zugängliche natürliche Querschnitt mit Kreosot oder Säure bestrichen wird. Nicht einmal das Thonschild oder die Thonspitze am Knochenstück wird verschoben.

Es ist auch nicht daran zu denken, die Verstärkung der negativen Schwankung einer Veränderung des Widerstandes durch die ätzende Flüssigkeit zuzuschreiben. Dazu ist erstens die Wirkung zu beträchtlich; zweitens wäre nicht einzusehen, weshalb das Verhältniss der Schwankung zur ursprünglichen Stromkraft sich ändert; drittens müsste die Säure viel stärker wirken als das Kreosot, da dieses doch nur durch die unter ihm absterbende Schicht im gleichen Sinne wie die Säure wirken könnte; endlich viertens die Säure sowohl wie die unter dem [547] Kreosot absterbende Schicht könnte nur als Nebenschliessung in Betracht kommen, also die Schwankung nur schwächen, nicht sie verstärken.

Auch indem man das Muskelende wärmestarr macht, erhält man denselben Erfolg wie beim Anätzen. Der Versuch ist aber minder sicher, weil es dabei nöthig wird, den Muskel aus der Streckvorrichtung zu entfernen und ihn wieder hinein zu bringen, da denn auch die Thonspitzen

---

[1] Beispiel. Gracilis. Die eine Spitze am Aequator des Längsschnittes, die andere am unteren Knochenstück; aufsteigende Stromkraft 114 $^{cgr}$. Tetanus: — 157 $^{sc}$, Nachwirkung — 80 $^{sc}$. Der Faden bleibt auf — 68 $^{sc}$ stehen. Wieder compensirt bei 70 $^{cgr}$. Tetanus: — 112 $^{sc}$, Nachwirkung — 40 $^{sc}$. Zum dritten Male compensirt bei 51 $^{cgr}$. Nun Kreosot: 334 $^{cgr}$. Tetanus: — 230 $^{sc}$. Nachwirkung nicht verzeichnet, weil das Kreosot noch entwickelnd wirkt. Wieder compensirt bei 414 $^{cgr}$. Tetanus: — 270 $^{sc}$.

Am oberen Ende desselben Muskels: Absteigende Kraft 36 $^{cgr}$. Tetanus: — 82 $^{sc}$, Nachwirkung — 22 $^{sc}$. Wieder compensirt bei 28 $^{cgr}$. Tetanus: — 42 $^{sc}$. Kreosot: 361 $^{cgr}$. Tetanus: — 129 $^{sc}$, Nachwirkung nicht sicher aufzufassen. Abermals compensirt bei 400 $^{cgr}$. Tetanus: — 66 $^{sc}$.

vom Muskel und Nerven abgehoben und ihnen neu angelegt werden müssen. —

Bei Ableitung des Stromes von anderen Punkten des unverletzten Gracilis, als dem natürlichen Längs- und Querschnitt, stösst man auf noch mehr Unregelmässigkeiten, als nachdem seine beiden Enden wärmestarr gemacht wurden. Dies erklärt sich leicht aus der verschiedenen Parelektronomie beider Enden.

Wird der Strom von beiden Enden abgeleitet, wobei er bald auf- bald absteigend ist, je nachdem das eine oder das andere Ende stärker parelektronomisch ist,[1] so erhält man beim Tetanisiren nicht selten eine positive statt einer negativen Schwankung. Natürlich bedeutet dies nichts, als dass die negative Schwankung des in der Ruhe negativeren natürlichen Querschnittes kleiner ist als die des in der Ruhe positiveren. Nach Obigem sollte dies bei gleicher Stärke der Zusammenziehung nicht der Fall sein, und man wird also schliessen müssen, dass in solchen Fällen diese Bedingung nicht erfüllt ist.

Es fällt danach minder auf, dass, nachdem das eine Ende wärmestarr gemacht wurde, die negative Schwankung von diesem Ende aus nicht ausnahmslos obsiegt, sondern manchmal in demselben Sinne zu erscheinen fortfährt, wie vorher. In anderen Fällen wiegt aber die negative Schwankung vom wärmestarr gemachten Ende aus ordnungsmässig vor, in noch anderen sieht man wenigstens, in Folge des Starrmachens des einen Endes, die Schwankung vom anderen Ende aus schwächer werden. Ich glaube daher nicht, dass jene beim ersten Anblick allerdings befremdlichen Abweichungen tiefere Bedeutung haben.

### [548] §. V. Untersuchung der Schwankung am Gastroknemius und Triceps femoris des Frosches. Sie stellt sich hier unter Umständen als absolut und relativ positive Schwankung dar.

Wie man leicht bemerkt, nöthigen die im vorigen Paragraphen aufgedeckten Thatsachen dazu, meine frühere Lehre aufzugeben, wonach die parelektronomische Schicht am Molecularmechanismus der Zusammenziehung keinen Theil haben sollte. Die Erörterung darüber, welche Folgerung aus dem jetzigen Thatbestande zu ziehen und an Stelle jener zu setzen sei, versparen wir auf eine spätere Stelle. Hier wird es zunächst zweckmässig sein, von einigen anderen Erfahrungen in diesem Gebiete

---

[1] S. oben S. 159. 161—165.

Kenntniss zu nehmen, welchen, obschon mit Unrecht, eine grundlegende Bedeutung zugeschrieben und ein grosser Einfluss auf die theoretischen Vorstellungen eingeräumt worden ist.

Wir wollen nämlich jetzt an die Erforschung des elektromotorischen Verhaltens unregelmässiger Muskeln, wio des Gastroknemius und Triceps femoris, im Tetanus gehen. Erinnert man sich der zusammengesetzten Art, wie nach meinen Ermittelungen der Strom dieser Muskeln schon in der Ruhe zu Stande kommt, so kann man im Voraus urtheilen, wie verwickelt der Vorgang bei der Schwankung an ihnen sich gestalten müsse, und wie wenig sie geeignet seien, um daran grundlegende, für andere Muskeln maassgebende Erfahrungen über jenen Vorgang zu sammeln. Der Einfachheit halber rede ich zunächst nur vom Gastroknemius.

Vor Allem muss noch hier eine Lücke ausgefüllt werden. Nach Entdeckung der Neigungsströme habe ich den Gastroknemius einem natürlichen Muskelrhombus verglichen, dessen einer schräger Querschnitt in der Längsmittelebene zusammengefaltet sei. Daraus ergab sich die Erklärung des elektromotorischen Verhaltens des ruhenden Gastroknemius.[1] Der Erforschung des elektromotorischen Verhaltens des zusammenge-
[549] zogenen Gastroknemius muss daher füglich die Ermittelung vorausgehen, wie ein künstlicher Muskelrhombus im Tetanus elektromotorisch wirke.

Vor dem Versuch hielt ich diese Ermittelung für unausführbar, und war angenehm überrascht, als ich im Gegentheil dabei auf kein namhaftes Hinderniss traf. Aus dem mit seinem Nerven versehenen M. gracilis grosser Frösche schnitt ich Muskelrhomben, deren Mitte etwa mit dem Hilus zusammenfiel, und befestigte sie auf eine gefirnisste Korkscheibe mit vier gläsernen Nadeln, die ich durch die beiden stumpfen und die beiden spitzen Rhombusecken stiess. Dem Rhombus legte ich Thonspitzen als Enden des Bussolkreises an, während der Nerv auf zwei anderen Thonspitzen ruhte, die ihm die tetanisirenden Ströme zuführten. Die Kraft, mit welcher der Rhombus im Tetanus seine Gestalt zu verändern strebte, war so klein, und die Befestigung durch die vier Nadeln so ausreichend, dass die Ableitung des Stromes nicht merklich durch Verschiebung unter den Thonspitzen gestört wurde. Es zeigte sich, dass in den verschiedensten Lagen der Thonspitzen am Rhombus beim Tetanisiren regelmässig rein negative Schwankung erfolgte, deren Grösse im Allgemeinen mit der ursprünglichen Stromstärke gleichen Schritt hielt. Insbesondere war dies auch der Fall bei dem scheinbar gesetzwidrigen Strome

---

[1] S. oben S. 127. 364.

vom schrägen Querschnitt in der Nähe einer stumpfen zum Längsschnitt in der Nähe einer spitzen Rhombusecke.[1] Die negative Schwankung trug dasselbe Gepräge wie die zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt, im Gegensatz zu der zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitt, d. h. sie entwickelte sich schnell und stetig zu voller Grösse, und hinterliess eine verhältnissmässig kleine Nachwirkung (s. oben S. 423. 424.). Dies ist ein Beweis mehr dafür, dass die in den künstlichen Neigungsströmen thätigen elektromotorischen Kräfte dieselben sind, wie die zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt, und es ist so ein Uebergang gebahnt zur Erforschung tetanisirter natürlicher Muskelrhomben.

[550] Bei Beobachtungen über negative Schwankung am Gastroknemius ist stets der Muskel in einer Streckvorrichtung, gewöhnlich in der sogenannten kleinen, mässig ausgespannt zu denken. Ich habe bereits oben S. 416. 417 daran erinnert, wie nach meinen älteren Wahrnehmungen unverletzte Gastroknemien auf verschiedenen Stufen der Parelektronomie und bei Ableitung des Stromes von Haupt- und Achillessehne im Tetanus sich elektromotorisch verhalten. Es versteht sich, dass man jetzt auch hier die Nachwirkung ohne Weiteres zu sehen bekommt; und ebenso erscheint unter diesen Umständen höchst ausgeprägt der oben beschriebene eigenthümlich stockende oder stossweise vorschreitende Gang des Fadens auf der Theilung.

Benetzt man den Achillesspiegel mit einer entwickelnden Flüssigkeit, Kreosot oder Säure, so wird die negative Schwankung vergleichsweise kleiner, an absoluter Grösse aber nimmt sie mit dem Strome des ruhenden Muskels zu, während die Nachwirkung im Vergleiche zur Schwankung selber, oft auch absolut, abnimmt, ganz wie wir dies an den mit natürlichem Querschnitt im Kreise befindlichen regelmässigen Muskeln erfahren haben. Wie zu erwarten war, fallen übrigens die Wirkungen am Gastroknemius absolut grösser aus, als am Gracilis.[2] Bei dem oben S. 403 beschriebenen Zustande der Bussole kam es vor, dass der Ausschlag beim Tetanisiren im Zustande der Compensation den Faden über die Theilung hinausführte.

---

[1] S. oben S. 99. 100.

[2] Beispiel. Gastroknemius. In der Ruhe $+77^{\text{cgr}}$. Tetanus: $-170^{\text{sc}}$, Nachwirkung $-140^{\text{sc}}$. Die Kraft in der Ruhe beträgt nur noch $+8^{\text{cgr}}$. Tetanus: $-91^{\text{sc}}$, Nachwirkung $-60^{\text{sc}}$. Der Strom ist umgekehrt, die Kraft jetzt $-16{\cdot}5^{\text{cgr}}$ Tetanus: $-94^{\text{sc}}$, Nachwirkung $-33^{\text{cgr}}$. Nun Benetzen des Achillesspiegels mit ClH : HO : : 1 : 9. Wie der Strom sich entwickelt, folgweise compensirt bei $+312$; $+407$; $+461^{\text{cgr}}$. Tetanus: beziehlich $-297$; $-352$; $-348^{\text{sc}}$, und keine mit der früheren irgend vergleichbare Nachwirkung.

In allen diesen Ergebnissen handelt es sich sichtlich um Zustände und Wirkungen des Achillesspiegels. Wenn wir am Gastroknemius beim Tetanus bisher stets eine absteigende Wirkung erfolgen sahen, so kann dies darauf beruhen, dass der Achillesspiegel minder parelektronomisch war als der Kniespiegel, und dass der von letzterem ausgehende, an sich [551] schwächere Stromzweig durch Nebenschliessung stärker geschwächt wird. Ist aber unsere Auffassung der Verhältnisse am Gastroknemius richtig, so müsste es unter Umständen gelingen, dem Gastroknemius beim Tetanus eine aufsteigende statt einer absteigenden Wirkung zu entlocken. Der Kniespiegel sendet in der Ruhe durch den Bussolkreis einen scheinbar im Muskel absteigenden Strom. Negative Schwankung dieses Stromes würde als aufsteigende Wirkung sich kundgeben. Um den Gastroknemius im Tetanus aufsteigend oder bei schon in der Ruhe vorhandenem aufsteigenden Strome stärker aufsteigend wirksam werden zu sehen, wäre nur nöthig, der negativen Schwankung des Kniespiegels die Oberhand zu verschaffen über die des Achillesspiegels. So sahen wir oben S. 426 einen von seinen beiden Enden abgeleiteten, in der Ruhe aufsteigend wirksamen Gracilis im Tetanus scheinbar stärker wirksam werden, oder in positive Schwankung verfallen, dadurch dass die negative Schwankung des oberen Endes die stärkere war, und so das Uebergewicht des unteren Endes noch vergrössert wurde. Um die negative Schwankung des Kniespiegels im Vergleich zu der des Achillesspiegels zu verstärken, bietet sich zunächst der Weg, die Parelektronomie des Kniespiegels herabzusetzen.

Das erste Verfahren, das ich dazu einschlug, bestand darin, dass ich auf früher beschriebene Art den Muskel von der Tibialfläche her längs der sehnigen Scheidewand aufschlitzte. Man erinnert sich, dass ein so behandelter Muskel bei geringer Parelektronomie des Achillesspiegels sehr viel weniger stark positiv wirkt, als vorher, bei grösserer Parelektronomie negativ wirksam wird.[1] Tetanisirt man den Muskel in diesem Zustande, so zieht er sich zuweilen noch ganz gut zusammen. Dabei erhält man zwar nicht rein positive, wohl aber doppelsinnige Schwankung (vergl. oben S. 407), der Art, dass der Faden zuerst positiv, dann negativ abgelenkt wird.[2] Oft geht dem positiven Ausschlage [552] noch ein kleiner negativer Ausschlag vorauf, wo dann die Schwankung ihren Sinn zweimal wechselt.[3] Für das Wahrnehmen solcher doppelsinnigen Aus-

---

[1] S. oben S. 135. 365.

[2] Beispiel I. Gastroknemius. + 66 $^{cgr}$. Aufschlitzen: — 296 $^{cgr}$. Tetanus: + 25 —86; +30—63; + 25 — 54 $^{sc}$. Achillesspiegel geätzt: + 450 $^{cgr}$. Tetanus: — 110; — 72 $^{sc}$..

[3] Beispiel II. Gastroknemius. + 88 $^{cgr}$. Tetanus: — 122 $^{sc}$, Aufschlitzen:

schläge ist der aperiodische Magnet von ganz besonderem Nutzen, weil der Faden durchaus nur unter dem Einflusse des entsprechenden Stromes auf einer bestimmten Seite des Nullpunktes erscheinen kann.

Wird am Achillesspiegel die parelektronomische Schicht zerstört, so erfolgt meist nur noch einsinnige Wirkung, entweder absolut negativ (Beispiel I), oder absolut positiv (Beispiel II); im letzteren Falle pflegt die Wirkung nur sehr klein zu sein.

Das zweite Verfahren, welches ich versuchte, war das der Ueberdehnung. Darunter verstehe ich bekanntlich so starke Dehnung des Muskels, dass seine Bündel zu reissen anfangen. Aus unbekanntem Grunde geschieht dies meist an der Ansatzstelle der Bündel an die sehnige Scheidewand. Die Bündel erleiden hier eine tödtliche Zerrung, und so wird gleichsam subcutan ein mechanischer künstlicher Querschnitt längs der Scheidewand hergestellt.[1] Ein überdehnter Muskel wirkt nicht selten mit grosser Kraft absteigend; mit grösserer als ein aufgeschlitzter, da an ihm beide Flächen der sehnigen Scheidewand in schrägen künstlichen Querschnitt verwandelt sind, am aufgeschlitzten Muskel stets nur die eine. Es war die Frage, ob ein solcher Muskel beim Tetanisiren seines Nerven sich noch zusammenziehen würde. That er dies, so gab vielleicht die Ueberdehnung gleichfalls ein Mittel ab, die negative Schwankung des Kniespiegelstromes sichtbar zu machen.

Dies gelingt wirklich. Das Ueberdehnen geschah mittels der an der erstangeführten Stelle beschriebenen Vorrichtung, welche erlaubt, den Muskel in der feuchten Kammer durch eine mit Zahn und Trieb bewerkstelligte Verschiebung bis [553] zum Zerreissen zu dehnen. Ueberdehnte Gastroknemien mit verkehrtem Strome lassen sich oft noch ganz gut vom Nerven aus tetanisiren, und auch so wird der Ausschlag beim Tetanus doppelsinnig, z. B. + 25—42 sc.

In der Abhandlung: 'Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen u. s. w.' habe ich noch ein drittes Verfahren beschrieben, den Kniespiegel wenigstens theilweise in künstlichen Querschnitt zu verwandeln, nämlich ein chemisches. Es genügt, mit einem in Kreosot oder verdünnte Milchsäure getauchten Pinsel einen Strich längs dem Sehnenstreif der Tibialfläche zu ziehen, um sogleich den aufsteigenden Strom zwischen Haupt- und Achillessehne sinken, bei höherer Parelektronomie des Achillesspiegels oft ihn sich umkehren zu sehen. An Wirksamkeit steht zwar dies Verfahren dem Aufschlitzen, vollends dem Ueber-

— 329 cgr. Tetanus: — 7 + 133 — 64 sc; — 3 + 70 — 33 sc (— 8 sc Nachwirkung); — 1 + 53 — 16 sc. Achillesspiegel geätzt: + 247 cgr. Tetanus: + 16; + 12 sc.

[1] S. oben S. 314. 315. 365.

dehnen, nach, da die Aetzung nur in geringe Tiefe reicht.[1] Doch gelang es mir auch so, die negative Schwankung des Kniespiegelstromes zum Vorschein zu bringen. Führte ich in der angegebenen Art einen Strich längs dem Sehnenstreif der Tibialfläche, so wurde die vorher rein negative Schwankung doppelsinnig; z. B. + 12 — 17.[2]

Bei dem Ueberdehnen und Anätzen habe ich den kleinen negativen Ausschlag, der beim Aufschlitzen oft dem positiven Ausschlage noch voraufgeht, nicht gesehen.

Aufschlitzen, Ueberdehnen, Anätzen sind bedeutende Verletzungen des Muskels, und man könnte den Verdacht fassen, dass durch solche Verletzung die sonst negative Schwankung positiv werde. Keinem solchen Einwande steht folgende merkwürdige Versuchsweise offen, auf die ich bei meinen Unter- [554] suchungen über den Einfluss körperlicher Nebenleitungen auf den Gastroknemiusstrom ganz natürlich gerieth.[3]

Wird ein Gastroknemius in Thon gehüllt, der mit dreiviertelprocentiger Steinsalzlösung angeknetet ist, oder wird er mit solcher Lösung unmittelbar bestrichen, vollends in sie getaucht, so sinkt nicht bloss, wie vorauszusehen war, der Spannungsunterschied zwischen Haupt- und Achillessehne, sondern wenn der Strom des Muskels wegen Parelektronomie schwach ist, kehrt ihn die angebrachte Nebenleitung um; ist er schon absteigend, so nimmt er in dieser Richtung noch zu. Dies rührt, wie ich zeigte, daher, dass die angebrachten körperlichen Leiter die Nebenschliessung verbessern, welche die Muskelmasse selber für den aufsteigenden Achillesspiegel- und den absteigenden Kniespiegelstrom in Bezug auf den Bussolkreis bildet. Die daraus entspringende Schwächung fällt für jeden der beiden Ströme um so kleiner aus, je besser bereits die Nebenschliessung durch die Muskelmasse ist. Für den in der mittleren Gegend des Muskels gelegenen oberen Theil des Achilles- und unteren Theil des Kniespiegels ist diese Nebenschliessung etwa gleich gross. Für den oberen Theil des Kniespiegels dagegen ist sie grösser als für den unteren Theil des Achillesspiegels. Darum erleidet durch das Anbringen der körperlichen Leiter der Achillesspiegelstrom einen grösseren Verlust als der

---

[1] S. oben S. 366.

[2] Man kann das Anätzen mit dem Aufschlitzen verbinden, indem man mit dem Pinsel durch den Schlitz fährt, um so auch die nicht vom Schnitt betroffene Fläche der Scheidewand in künstlichen Querschnitt zu verwandeln. Das VALENTIN'sche Doppelmesser, indem es die Scheidewand zwischen beide Klingen nähme, würde auf deren beiden Flächen künstlichen Querschnitt mechanisch herstellen. Am besten zur völligen Entwickelung des Kniespiegelstromes wäre aber vielleicht das Galvanokauter.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 376; — S. oben S. 372.

Kniespiegelstrom, und das Umhüllen mit Thon, Bepinseln mit verdünnter Salzlösung u. d. m. wird so zu einem Mittel, letzteren im Vergleich zu ersterem zu verstärken; einem Mittel, das von den früheren durch seine völlige Harmlosigkeit sich unterscheidet, da es denn mehrmals nach einander auf denselben Muskel angewendet werden kann. Namentlich ist dies aus Gründen, die a. a. O. S. 379. 380 angegeben sind, der Fall mit der Thonumhüllung, daher im Folgenden stets diese Art des Anbringens einer körperlichen Nebenleitung geübt werden wird.

Wie ein Gastroknemius abwechselnd schnell mit Thon zu umkneten, und wieder aus der Thonhülle zu befreien sei, [555] habe ich schon ebendaselbst, S. 377, beschrieben. Es hat gar keine Schwierigkeit, beim Umkneten den Nerven herauszulassen, und von ihm aus den Muskel in der Thonhülle zu tetanisiren. Hat man nun einen stark parelektronomischen Gastroknemius, der in der Hülle, statt schwach aufsteigend, absteigend wirkt, so giebt er im Tetanus statt rein negativer, positive oder doppelsinnige Schwankung, letztere so, dass der negative Ausschlag dem positiven vorhergeht.[1] Es genügt also, dem Kniespiegelstrom, indem man für ihn die Nebenleitung weniger verbessert, vorübergehend die Oberhand über den Achillesspiegelstrom zu verschaffen, um dem Gastroknemius im Tetanus, ebenso vorübergehend, eine zwar noch relativ negative, absolut genommen aber positive Schwankung zu entlocken.

In der fünften Zeile unseres Beispieles fiel auch ohne Thon die Wirkung doppelsinnig aus, vielleicht weil durch Berührung mit dem Thone das Perimysium an Widerstand abgenommen hatte, oder weil noch eine dünne Schicht Thon dem Muskel anhaftete.[2] Vielleicht aber war dies auch der Uebergang zu einem Fall, den ich am Gastroknemius zwar nur selten, desto öfter dagegen am Triceps sah. Dieser Fall, der als fünfte Art erscheint, wie man von diesen Muskeln im Tetanus positive Schwankung erhält, besteht darin, dass der in der Ruhe bereits negativ, oder auch noch positiv wirksame Muskel von selber, ohne jede vorgängige Behandlung, im Tetanus doppelsinnige oder positive Schwankung zeigt.

---

[1] Beispiel. Gastroknemius.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. frei | in | Ruhe | +42 cgr. | Im | Tetanus | −91 sc. |
| 2. in Thon | „ | „ | −32 „ | „ | „ | −10 + 21. |
| 3. frei | „ | „ | +29 „ | „ | „ | −40. |
| 4. in Thon | „ | „ | −52 „ | „ | „ | +21. |
| 5. frei | „ | „ | +31 „ | „ | „ | +11 − 5; − 6 + 3. |
| 6. in Thon | „ | „ | −48 „ | „ | „ | +13. |

u. s. f.

[2] A. a. O. S. 377. 378.

[556] Ich handle jetzt von derselben Versuchsreihe am Triceps. Unter Triceps schlechthin verstehe ich den Kopf dieses Muskels, den Hr. Ecker M. vastus internus nennt, unter Patellaspiegel die dem Achillesspiegel entsprechende Sehnenausbreitung an dessen unterem Ende.[1] Die Präparation dieses Kopfes mit seinem Nerven ist zwar auch umständlich, doch ungleich weniger als die des Gracilis. Beim Abziehen der Haut ist dieselbe Vorsicht zu beobachten wie dort. Darauf spaltet man das Präparat in der Schambeinfuge, und legt die eine Hälfte zurück, da man nicht, wie beim Gracilis, beide Beine braucht, um den Muskel der einen Seite zu gewinnen.

1. Man trennt von unten her Biceps von Triceps, legt von oben her den Ichiadicus bis zum Abgang der Tricepsäste bloss, und zerschneidet ihn unterhalb dieser Aeste.

2. Indem man das stumpfe Scheerenblatt von aussen unter sie bringt, zerschneidet man Vastus externus und Caput longum Ecker, schlägt ihren unteren Theil nach unten zurück, und trennt sie vom Vastus internus ab. Dabei werden etwa die unteren zwei Drittel des inneren Randes unseres Muskels von selber beinahe völlig frei, und die Nervenäste zu jenen Köpfen mit abgeschnitten.

3. Nun wird der Nerv bis zum Hilus präparirt, der am Triceps nicht, wie am Gastroknemius, hoch oben am Kopfe, sondern etwa an der Grenze des oberen und mittleren Drittels des Muskels liegt. Nachdem der Nerv zusammengefaltet dort in Sicherheit gebracht ist, zerschneidet man unter der Tricepssehne den Oberschenkel dicht über dem Knie, und macht, indem man des Unterschenkels als Handhabe sich bedient, den Muskel bis zum Hüftgelenke vollends frei. Darauf bleibt nur noch übrig, die Knochenstücke zuzuschneiden und zu reinigen.

Obwohl äusserlich dem Gastroknemius ähnlich, und wirklich nach gleichem Schema gebaut, unterscheidet sich der Triceps, wie ich kürzlich zeigte, vom Gastroknemius doch in wesentlichen Punkten. Die Scheidewand des Gastroknemius [557] ist an ihm auf einen oberflächlichen, die Femoralfläche der Länge nach hälftenden Sehnenfaden reducirt, der nur einen zarten Saum in die Tiefe schickt. An diesen Faden mit seinem Saum, und an die sehnige Masse am Muskelkopfe, heften sich die Spitzen der nach meiner Beobachtung pyramidal gestalteten Tricepsbündel, während die Grundflächen der Pyramiden unter dem Patellaspiegel eine Facetten-Mosaik bilden.[2]

Der Triceps lässt sich nicht überdehnen in dem Sinne, wie der

[1] Die Anatomie des Frosches u. s. w. S. 112. — S. oben S. 46. Anm. 2; — S. 136.
[2] Vergl. oben S. 54 ff.

Gastroknemius. Statt dass der Sehnenfaden ausrisse, wie am Gastroknemius die Scheidewand, trennt sich meist die untere Sehne von der Tibia.

Körperliche Nebenleitungen wirken, wie schon früher berichtet wurde,[1] auf den Strom des Triceps wie auf den Gastroknemiusstrom. Der Nerv des Triceps ist aber so zart, und seine Eintrittsstelle liegt so tief, dass es ohne Verletzung des Nerven unmöglich wäre, den Muskel ganz mit Thon zu umkneten. Man muss sich damit begnügen, um die unteren zwei Drittel des Muskels einen dicken Thonring zu legen, welcher übrigens hier, wie am Gastroknemius, fast dasselbe leistet, wie vollständige Umhüllung. Er verwandelt denn auch den vorher rein negativen Ausschlag im Tetanus in einen doppelsinnigen oder rein positiven.[2]

Das Aufschlitzen bringt am Triceps eine starke absteigende Wirkung hervor, da es, wenn auch nicht in solcher Ausdehnung wie am Gastroknemius, künstlichen Querschnitt herstellt.[3] Es wirkt daher auf die negative Schwankung wie am [558] Gastroknemius, indem es sie positiv macht. Anätzen des Patellaspiegels verschafft dann oft der negativen Schwankung wieder die Oberhand.[4]

Das Anätzen der Muskeloberfläche giebt aber hier noch Gelegenheit zu ungleich merkwürdigeren Wahrnehmungen. Erwägt man, wie wohl die pyramidalen Tricepsbündel elektromotorisch wirken mögen, so sieht man alsbald, dass die Seitenflächen der Pyramiden als sehr schräger natürlicher Querschnitt aufzufassen sind, der einen in der Pyramide von der Spitze zur Grundfläche fliessenden Neigungsstrom erzeugen muss. Ist die Parelektronomie dieses schrägen natürlichen Querschnittes aufgehoben, so muss also die Spitze des Bündels negativ gegen seine Grundfläche sich verhalten. Da nun das scheinbar durch natürlichen Längsschnitt gebildete rothe Fleisch des Muskels in Wahrheit aus Seitenflächen pyrami-

---

[1] S. oben S. 401.

[2] Beispiel. Triceps. Das Pluszeichen bedeutet, wie am Gastroknemius, wo es um den Strom zwischen Haupt- und Achillessehne sich handelt, die auf-, das Minuszeichen die absteigende Stromrichtung. Vergl. oben S. 95.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. frei | in Ruhe | +148 $^{cgr}$. | Im Tetanus | —118 $^{sc}$, |
| 2. in Thon | „ „ | + 62 „ | „ „ | — 28 + 42. |
| 3. frei | „ „ | +158 „ | „ „ | — 47. |
| 4. in Thon | „ „ | + 76 „ | „ „ | + 12. |
| 5. frei | „ „ | +193 „ | „ „ | — 28. |

[3] S. oben S. 137.

[4] Beispiel. Triceps. + 36 $^{cgr}$. Tetanus: — 69 $^{sc}$, rein negativ. Aufgeschlitzt: — 40 $^{cgr}$. Tetanus: + 54; + 57 $^{sc}$, rein positiv. Patellaspiegel geätzt: + 220 $^{cgr}$. Tetanus: — 218 $^{sc}$, wieder rein negativ.

daler Bündel besteht, so muss Anätzen des rothen Fleisches eine im Muskel absteigende Wirkung erzeugen.

Ich hatte die Freude, diese aus der mikroskopischen Untersuchung der Tricepsbündel unter so verwickelten Umständen gemachte Vorhersage im Versuch eintreffen zu sehen. Bestreicht man das rothe Fleisch am Gastroknemius mit Kreosot oder verdünnter Milchsäure, so erfolgt keine oder nur geringe und unbestimmte Wirkung. Verfährt man ebenso am Triceps, so erscheint eine mächtige absteigende Wirkung, obschon minder stark, als die aufsteigende Wirkung vom geätzten Patellaspiegel aus.[1]

Es hätte danach keinen Sinn, das Anätzen des Sehnenstreifes, [559] um die Schwankung im Tetanus positiv zu machen, vom Gastroknemius auf den Triceps zu übertragen. An Stelle dieses Verfahrens tritt hier das Anätzen der ganzen Muskeloberfläche mit Ausschluss des Patellaspiegels. Dadurch wird die Schwankung positiv, negativ wieder durch Anätzen auch des Patellaspiegels.[2]

Aus der Einsicht, wie die elektromotorische Wirkung des Triceps zu Stande kommt, erklären sich mehrere Eigenthümlichkeiten dieser Wirkung. Man versteht nun, warum zwischen oberem Rande des Patellaspiegels und oberer Sehne stets absteigender Strom herrscht.[3] Man versteht ferner, warum der Triceps vergleichsweise so oft absteigend wirksam gefunden wird. Dies ist nicht etwa Parelektronomie des Patellaspiegels in dem Grade, dass der Strom verkehrt ist, sondern die Folge davon, dass der von den schrägen Seitenflächen der pyramidalen Bündel im rothen Fleisch ausgehende absteigende Neigungsstrom den von ihren Grundflächen im Patellaspiegel ausgehenden aufsteigenden Neigungsstrom übertrifft. Dies kann um so leichter vorkommen, als die Seitenflächen nur durch gewöhnliches Perimysium, die Grundflächen durch eine derbe Aponeurose geschützt sind.

Unter diesen Umständen schwächt körperliche Nebenleitung den absteigenden Strom, anstatt ihn zu verstärken. Dieser Fall ist von dem in der Abhandlung: 'Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen u. s. w.',

---

[1] Beispiele. Triceps.

I. + 83 cgr. Rothes Fleisch mit verdünnter Milchsäure geätzt: — 311 cgr. Patellaspiegel geätzt: + 39 cgr.

II. + 14 cgr. Rothes Fleisch mit Kreosot geätzt: — 247 cgr. Patellaspiegel geätzt: + 79 cgr.

[2] Beispiel. Triceps. + 22 cgr. Tetanus: — 6 + 4 — 9 + 20 sc. Rothes Fleisch geätzt: — 206 cgr. Tetanus: + 190 sc, rein positiv. Patellaspiegel geätzt: + 67 cgr. Tetanus — 51 sc.

[3] S. oben S. 137.

S. 395, erörterten wohl zu unterscheiden. Er entsteht dadurch, dass die Nebenschliessung auf den unteren Theil des aus Seitenflächen pyramidaler Bündel bestehenden rothen Fleisches eben so stark schwächend wirkt, wie auf den unteren Theil des Patellaspiegels. Die Folge der proportionalen Verkleinerung zweier Grössen ist aber eben solche Verkleinerung ihres Unterschiedes, hier des absteigenden Stromes. Entwickelt man die Nega- [560] tivität des Patellaspiegels, so dass der Strom aufsteigend wird, so wirkt Umhüllen mit Thon sogleich im gewöhnlichen Sinne, d. h. es schwächt den aufsteigenden Strom.

Endlich versteht man nun auch, warum der Triceps, wie schon gesagt, oft ohne äussere Veranlassung im Tetanus aufsteigende Schwankung giebt. Dann hat eben der Neigungsstrom des rothen Fleisches wegen geringerer Parelektronomie die Oberhand.[1]

Wir haben also im Ganzen fünf Fälle kennen gelernt, in denen Gastroknemius und Triceps im Tetanus positive Schwankung, statt negativer, geben. Dies geschieht 1. an den längs der Tibial-, beziehlich der Femoralfläche aufgeschlitzten Muskeln; 2. an dem dort angeätzten Gastroknemius, und dem an seiner ganzen Oberfläche, mit Ausnahme des Patellaspiegels angeätzten Triceps; 3. an den mit einer körperlichen Nebenleitung versehenen Muskeln; 4. am überdehnten Gastroknemius; endlich 5., und zwar vorzüglich am Triceps, auch ohne bekannte äussere Veranlassung. Es kann kein Zweifel sein, dass in allen diesen Fällen die positive Schwankung nichts ist, als negative Schwankung des Kniespiegelstromes am Gastroknemius, des entsprechenden oberen Stromes am Triceps. Dies folgt daraus, dass die Mittel, durch welche wir die positive Schwankung zum Vorschein bringen, zum Theil wie das Aufschlitzen, Ueberdehnen, Anätzen, solche sind, von denen wir wissen, dass sie geeignet sind, die negative Schwankung vom Kniespiegel, beziehlich vom oberen Querschnitt des Triceps aus zu verstärken, zum Theil, wie das Umhüllen mit Thon, solche, von denen feststeht, dass sie diese Schwankung weniger schwächen, als die vom Achilles-, beziehlich vom Patellaspiegel aus.

Aehnliche Erscheinungen, wie zwischen Haupt- und [561] Achillessehne von Gastroknemien, an denen aus irgend einem Grunde der Kniespiegelstrom im Tetanus seine negative Schwankung zur Geltung bringt, beobachtet man übrigens an Gastroknemien, an deren Kopf, oberhalb der

---

[1] Beispiele. Triceps.

I. — 35 $^{cgr}$. Tetanus: — 49 $^{sc}$. — 17 $^{cgr}$. Tetanus: — 43 + 39 $^{sc}$. — 15 $^{cgr}$. Tetanus: — 22 + 55 $^{sc}$. — 11 $^{cgr}$. Tetanus: — 14 + 14 — 30 $^{sc}$ u. s. w.

II. — 15 $^{cgr}$. Tetanus: — 34 + 40 $^{sc}$. — 20 $^{cgr}$. Tetanus: — 21 + 77 $^{sc}$ u. s. w.

Eintrittsstelle des Nerven, ein künstlicher Querschnitt angelegt ist. Schon in meinen 'Untersuchungen'[1] habe ich beschrieben, wie man von solchem geköpften Gastroknemius zwischen dem künstlichen Querschnitt und der Achillessehne in der Ruhe absteigende, im Tetanus relativ negative, absolut positive Wirkung erhält.

Bei Wiederholung dieser Versuche fand ich jetzt, was damals die Trägheit der Multiplicatornadel wahrzunehmen mir nicht erlaubte, dass die Schwankung am geköpften Gastroknemius oft doppelsinnig erscheint, zuerst positiv, dann negativ. Die Schnittfläche am Muskelkopfe spielt dabei die Rolle des Kniespiegels in den vorigen Versuchen.

Es giebt noch eine, jedoch ganz verschiedene Art, vom Gastroknemius im Tetanus aufsteigende oder positive Wirkungen zu erhalten. Sie besteht darin, die eine ableitende Thonspitze der Hauptsehne, die andere dem natürlichen Längsschnitt am Muskelkopfe etwas tiefer so anzulegen, dass in Ruhe der Muskel negativ wirkt.[2] Alsdann erhält man im Tetanus eine relativ negative, absolut positive Wirkung, nebst entsprechender Nachwirkung.[3] Doppelsinnig wird hier die Schwankung nie, weil der Achillesspiegelstrom im Bussolkreise gleiche Richtung mit dem Kniespiegelstrom hat.

Was nämlich jetzt die Bedeutung der doppelsinnigen Wirkungen anlangt, die sich unter Umständen darbieten, wo die negative Schwankung des Kniespiegel- und die des Achillesspiegelstromes zugleich im Kreise sind, um der Einfachheit halber wieder nur vom Gastroknemius zu reden, so leuchtet ein, dass diese Wirkungen nicht von einem und demselben sehnigen Ende [562] des Muskels ausgehen. Nie haben wir Aehnliches gesehen, so lange wir uns auf Beobachtung des Stromes an nur einem Ende eines Muskels beschränkten, und das Mittel, am Gastroknemius doppelsinnige Schwankung hervorzurufen, bestand darin, die Kniespiegelstromschwankung zur Geltung zu bringen, sei's durch Aufheben der Parelektronomie des Kniespiegels, sei's indem die Achillesspiegelstromschwankung durch körperliche Nebenleitung zeitweise mehr als jene geschwächt wurde.

Die doppelsinnigen Wirkungen rühren vielmehr sichtlich daher, dass die einander absolut entgegengesetzten Schwankungen des Kniespiegel- und des Achillesspiegelstromes sich von einander abziehen und verschiedenen zeitlichen Verlauf haben. Dass man es in ihnen mit einem solchen

---

[1] Bd. II. Abth. I. 1849. S. 86.

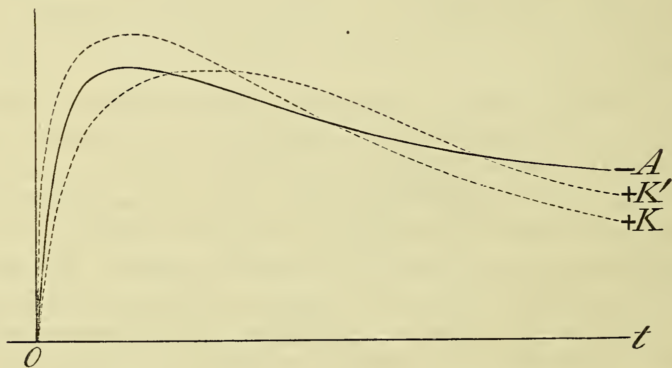
[2] S. oben S. 92. 131. 310.

[3] Beispiel. Gastroknemius. $-39^{\text{cgr}}$. Tetanus: $+53^{\text{sc}}$. $-62^{\text{cgr}}$. Tetanus: $+78^{\text{sc}}$.

Unterschied zweier Wirkungen zu thun habe, wird dadurch bestätigt, dass sie meist kleiner, oft sehr viel geringer sind, als die unter gewöhnlichen Umständen erhaltenen einsinnigen Schwankungen im Tetanus.

Um die beobachteten Erscheinungen zu erklären, ist nur nöthig, der Schwankung des compensirten Achillesspiegelstromes einen Verlauf zuzuschreiben, wie ihn die ausgezogene Curve 0 (—$A$) in beistehender Figur zeigt, der Schwankung des Kniespiegelstromes einen Verlauf gleich dem der beiden gestrichelten Curven 0 (+$K$), 0 (+$K'$), deren Ordi- [563] naten, obwohl auf derselben Seite der Abscissenaxe aufgetragen, von entgegengesetztem Zeichen sind, wie die der ausgezogenen Curve. Durch algebraische Summation der Schwankung 0 (—$A$), 0 (+$K$) entspringt die doppelsinnige Wirkung, bei der zuerst ein positiver, dann ein negativer Ausschlag erfolgt; durch Summation von 0 (—$A$), 0 (+$K'$) die,

Fig. 36.




bei der dem positiven Ausschlage noch ein negativer voraufgeht und die Schwankung zweimal das Zeichen wechselt. Denkt man sich alle Ordinaten der einen oder der anderen Curve einander proportional genügend vergrössert, so wird die Wirkung einsinnig im Sinne der vergrösserten Ordinaten.

Oben S. 424 erfuhren wir, dass die negative Schwankung vom künstlichen und die vom natürlichen Querschnitt aus nicht bloss der relativen und absoluten Grösse, sondern auch dem zeitlichen Verlaufe nach sich unterscheiden. Bei natürlichem Querschnitt ist die Schwankung relativ gross, absolut klein, sie erreicht nicht sogleich, sondern stossweise, ihre volle Grösse. Bei künstlichem Querschnitt ist die Schwankung relativ klein, absolut gross, sie erreicht ihre volle Grösse sogleich. Die Knie-

spiegelstromschwankung machten wir meist dadurch sichtbar, dass wir den Kniespiegel in künstlichen Querschnitt verwandelten. Die Vermuthung liegt daher nahe, dass hierin der Grund für den verschiedenen Verlauf liege, den wir beiden Schwankungen zuschreiben müssen, um die doppelsinnigen Wirkungen zu erklären. Anätzen des Achillesspiegels machte den doppelsinnigen Wirkungen ein Ende, und liess nur entweder negative oder sehr schwache positive Schwankung bestehen. Dies lässt sich so auslegen, dass alsdann die ausgezogene Curve entweder ganz über der gestrichelten verläuft, oder unter ihr bleibend ihr sich nahe anschliesst.

Inzwischen scheint es kaum, als sei diese Auffassung die richtige. Erstens passt die Form der Curve 0 $(+K')$ nicht dazu, denn sie setzt langsameres Ansteigen der vom künstlichen Querschnitt ausgehenden Schwankung voraus. Zweitens stimmt damit nicht, dass Umhüllen mit Thon ähnlich wirkt, wie Aufheben der Parelektronomie des Kniespiegels. Drittens erhält man von regelmässigen Muskeln, an deren einem Ende [564] künstlicher Querschnitt angelegt ist, bei Ableiten des Stromes von den Knochenstücken keine doppelsinnige Wirkung (vergl. oben S. 426).

Der Unterschied im zeitlichen Verlaufe der Schwankung vom natürlichen und vom künstlichen Querschnitt aus muss sich natürlich in das Ergebniss des Versuches einmischen; doch ist nicht er es, der dies Ergebniss wesentlich bedingt. Vielmehr scheint dabei eine zunächst nicht weiter erklärbare Eigenthümlichkeit der schrägen Querschnitte des Gastroknemius und Triceps im Spiele zu sein.

## §. VI. Vom elektromotorischen Erfolge bei Einzelzuckungen. Hrn. Meissner's positive Schwankung des Gastroknemiusstromes ist negative Schwankung des Kniespiegelstromes.

Als ich vor mehr als dreissig Jahren das alte Problem löste, dem Muskel bei der Zusammenziehung elektromotorische Wirkung zu entlocken, verdankte ich meinen Erfolg nicht zum kleinsten Theile dem Kunstgriff des Tetanisirens. Indem ich den schon von Caldani, Volta, Nobili, Sterneberg beobachteten elektrischen Tetanus zuerst als experimentelles Hülfsmittel anwendete, um dauernde Zusammenziehung zu bewirken, gelang es mir die Schwierigkeit zu besiegen, welche bei der geringen Empfindlichkeit der damaligen Galvanoskope aus der zu grossen Schnelle einzelner Zuckungen entsprang.[1]

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 12; — Fortschritte der

Es versteht sich aber, dass diese Art der Untersuchung, weit entfernt, die Erforschung des elektromotorischen Verhaltens bei einzelnen Zuckungen überflüssig zu machen, keinen völlig sicheren Schluss auf dasjenige zuliess, was bei solchen Zuckungen geschieht. Wie für die Wärmeentwickelung im Tetanus von Béclard [1] vermuthet worden ist, konnte z. B. [565] die negative Schwankung im Tetanus auftreten an Stelle eines Theiles der nicht geleisteten Arbeit. Die negative Schwankung des Nervenstromes, die secundäre Zuckung, die von Hrn. Kölliker und H. Müller beobachtete negative Schwankung am Froschherzen, gelegentliche Beobachtungen am Nervenmultiplicator, dessen Nadel ich bei einzelnen Zuckungen hatte zurückweichen sehen, waren zwar geeignet, mich hierüber zu beruhigen. Dennoch kam Hr. Meissner nur der Ausführung eines längst von mir gehegten Vorsatzes zuvor, als er 1862, in Gemeinschaft mit F. Cohn, und mit Hülfe einer von ihm und von Hrn. Meyerstein neu construirten Spiegelbussole, des sogenannten Elektro-Galvanometers,[2] es unternahm, das Verhalten des Muskelstromes auch bei Einzelzuckungen genauer festzustellen.[3]

Hr. Meissner hat sich dabei ausschliesslich des Froschgastroknemius bedient, dessen Strom er auf eine ihm eigenthümliche Weise ableitete, nämlich einerseits von der Haupt- oder Achillessehne mittels eines durch die Sehne geführten, [566] mit Eiweiss getränkten Wollfadens, andererseits mittels eines ebensolchen, um die Mitte des Muskelbauches ge-

---

Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. S. 454 ff.; — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. Berlin 1848. S. 32 ff.

[1] Comptes rendus etc. 1860. t. L. p. 471.

[2] Meissner in Henle's und Pfeufer's Zeitschrift für rationelle Medicin. 1861. 3. R. Bd. XI. S. 193. Tafel IX.; — Meyerstein in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1861. Bd. CXIV. S. 132. — Vergl. meine Bemerkungen über das Elektro-Galvanometer im ersten Bande dieser Sammlung S. 156. Anm. — Was auch die sonstigen Vorzüge dieser neuen Bussole sein mögen, für thierisch-elektrische Zwecke ist sie durch die zu grosse Trägheit des Magnetringes mit seinem gewichtigen Spiegel entwerthet. In Folge dessen kam in Hrn. Meissner's und Hrn. Meyerstein's Versuchen der Spiegel erst nach 40—50″ zur Ruhe bei einem Grade von Astasie, bei dem er noch mehrere Schwingungen vollzog. Seine Beruhigungszeit, wenn er aperiodisch gemacht worden wäre, würde nicht viel kleiner gewesen sein (s. oben Bd. I. S. 310 ff.) Die Beruhigungszeit meines Spiegels betrug bei den hier beschriebenen Versuchen höchstens 5″ (s. oben S. 403). Je leichter ein Magnetspiegel ist, um so kleiner ist seine Beruhigungszeit, und um so grösser der Spielraum aperiodischer Astasie, beides bei thierisch-elektrischen Versuchen unschätzbare Vortheile.

[3] Zeitschrift für rationelle Medicin. 1862. 3. R. Bd. XV. S. 27 ff. — Vergl. Hrn. Meissner's Bericht über die Fortschritte der Physiologie im Jahre 1862. In derselben Zeitschrift 1864. 3. R. Bd. XIX. S. 434.

schlungenen Fadens. Hr. Meissner setzt voraus, von diesen Fäden sei der erste dem einen oder dem anderen natürlichen Querschnitt des Muskels, der zweite dem Aequator angelegt gewesen. Das vollkommen Irrige dieser Vorstellung habe ich schon anderswo aufgedeckt, und dort gezeigt, als eine wie zweifelhafte Verbesserung der von mir eingeführten Methoden zur Ableitung des Muskelstromes Hrn. Meissner's Verfahren erscheint.[1] Hr. Meissner hatte nicht, wie er glaubte, den gewöhnlichen Muskelstrom im Kreise, sondern einen unter verwickelten Bedingungen abgeleiteten Strom, der aus drei Theilen sich zusammensetzte: 1. einem natürlichen Neigungsstromzweig, den der Achillesspiegel, 2. einem solchen, den der Kniespiegel durch den Kreis schickte; 3. unter Umständen, die näher zu bezeichnen hier der Mühe nicht lohnt, auch noch einen schwachen und veränderlichen Strom vom natürlichen Längsschnitt zum schrägen natürlichen Querschnitt.

Als Hr. Meissner den so abgeleiteten Gastroknemius vom Nerven aus in Einzelzuckungen versetzte, beobachtete er häufig, statt einer negativen, eine kleine positive Schwankung. Die Wirkung war auch noch positiv, und konnte sogar das Achtfache der früheren Wirkung betragen, wenn unvollkommen tetanisirt wurde (s. oben S. 413). Bei gewöhnlichem Tetanisiren war die Wirkung stets negativ; über ihre verhältnissmässige Grösse unter denselben Umständen verlautet nichts.

Hr. Meissner hat auf diese, wie wir sehen werden, zunächst noch zweideutige Beobachtung, in Verbindung mit anderen theils falschen, theils unvollständigen Wahrnehmungen, eine weitreichende Reihe kühner Schlüsse gegründet.

[567] Er glaubte sich nämlich ausserdem, im Widerspruch mit mir, von folgenden drei Punkten überzeugt zu haben.

1. Wenn durch äussere Kräfte die Form des Gastroknemius so verändert werde, wie durch Zusammenziehung, zeige der Strom negative Schwankung, wie bei der Zusammenziehung.[2]

2. Wenn der Gastroknemius durch Dehnung verhindert werde, seine Form zu verändern, zeige er beim Tetanisiren nur noch schwächere negative Schwankung oder gar keine Schwankung mehr, „in einigen Fällen „aber auch starke positive Schwankungen, viel bedeutender zuweilen, als „sie von frei hängenden“ (nicht gedehnten) „Muskeln bei unvollkomme„nem Tetanus beobachtet wurden.“[3]

---

[1] S. oben S. 303. 386.

[2] A. a. O. S. 37.

[3] A. a. O. S. 41. 42. 50.

3. Dagegen sei der secundäre Tetanus vom gedehnten Muskel aus stärker, als vom ungedehnten.[1]

Hr. Meissner verknüpfte diese angeblichen Thatsachen mit der positiven Schwankung bei Einzelzuckungen durch folgende Theorie. Die von mir beschriebene negative Schwankung habe mit dem eigentlichen Vorgange der Zusammenziehung nichts zu schaffen. Sie rühre nur davon her, dass der Muskel bei der Zusammenziehung seine Form verändere. Sie sei es auch nicht, welche den secundären Tetanus erzeuge, und es sei kein Grund vorhanden, sie als discontinuirlich aufzufassen. Es finde aber bei der Zuckung im Muskel eine elektrische Entladung statt, welche die Ursache der secundären Zuckung sei, und im Bussolkreis als positive Schwankung sich darstelle. Mit dem Muskelstrome habe diese Entladung nichts gemein. Während sie am Gastroknemius mit dem Strome gleiche Richtung zeige, habe sie am Herzen die umgekehrte Richtung. Hr. Meissner erklärt übrigens nicht, weshalb bei der Dehnung, durch welche seiner Meinung nach nur eine sonst durch die Formveränderung bedingte stetige Stromabnahme beseitigt wird, die [568] secundäre Zuckung stärker ausfällt. Schliesslich vergleicht er den Muskel mit dem elektrischen Organ der Zitterfische. Während am gereizten Muskel lebendige Kräfte theils als Wärme, theils als Massenbewegung, und nur zu einem kleinen Theil als Elektricität zum Vorschein kommen, entwickele das gereizte elektrische Organ lebendige Kraft als Elektricität. Hr. Meissner schloss sich so der zuletzt auch von Matteucci angenommenen, ursprünglichen Hypothese Hrn. Becquerel's des Vaters über den Ursprung der secundären Zuckung an (vergl. oben S. 417).[2]

Dieser letzte Theil der Meissner'schen Theorie erfuhr bald darauf durch Hrn. W. Krause eine wichtige Umgestaltung. Hr. Krause machte auf die Aehnlichkeit der Nervenendigung im Muskel mit Bilharz' elektrischer Platte im Organ von Malapterurus aufmerksam, und äusserte die Vermuthung, dass die Nervenendplatte als elektrische Platte der contrac-

[1] A. a. O. S. 43. 44.

[2] A. a. O. S. 58 sagt Hr. Meissner: „Matteucci hat, wie bekannt, die secun- „däre Zuckung entdeckt, er nannte sie die inducirte Zuckung, und er hat sie stets „als eine durch die Entladung des primären Muskels bewirkte betrachtet.“ Dies Letztere ist ganz falsch. Fünf Jahre lang, von 1842 bis 1847, hat Matteucci, nach seiner Art in unzähligen Aufsätzen, die Behauptung verfochten, die secundäre Zuckung sei nicht elektrischen Ursprunges, sondern rühre her von einer eigenartigen Fernwirkung des Nervenprincips. Ich habe diese Behauptung durch eine mühselige und gründliche Versuchsreihe widerlegt, welche in der 1. Abtheilung des 2. Bandes meiner 'Untersuchungen' über einen Druckbogen einnimmt (S. 99—118), und Hrn. Meissner füglich hätte bekannt sein können.

tilen Substanz im Primitivmuskelbündel einen elektrischen Schlag ertheile, welcher zugleich Ursache der Meissner'schen positiven Schwankung sei.[1] Hr. W. Kühne äusserte kurz darauf den nämlichen Gedanken, jedoch ohne Bezug auf die positive Schwankung.[2]

Hrn. Meissner's Angaben erregten grosses Aufsehen, und fanden, Dank der Sicherheit, mit der sie auftraten, und der geschlossenen Theorie, der sie zur Grundlage dienten, [569] überall Eingang. Aber wie im Leben solche glänzende Erscheinungen das ihnen geschenkte Vertrauen nicht immer rechtfertigen, so hält auch Hrn. Meissner's Lehre eine etwas nähere Prüfung nicht aus.

Zunächst wollen wir eine genauere Untersuchung seiner positiven Schwankung bei Einzelzuckungen vornehmen. Vor Allem ist zu erinnern, dass nirgend Hr. Meissner den doch unentbehrlichen Beweis geführt hat, dass es dabei um Zunahme der Kraft, nicht bloss um Abnahme des Widerstandes, sich handelt. Er hat hier denselben Unterlassungsfehler begangen, wie bei seinen Versuchen über Einfluss der Dehnung auf die elektromotorischen Wirkungen des Muskels.[3] Bekanntlich habe ich schon vor vielen Jahren gezeigt, dass der Widerstand des Muskels bei der Zusammenziehung in doppelter Art sich ändert. Kann der Muskel sich verkürzen, so wächst der Widerstand wegen der am verkürzten Muskel minder günstigen Vertheilung der leitenden Masse. Ist die Beweglichkeit des Muskels durch Ausspannen beschränkt, so tritt die Widerstandszunahme wegen Formveränderung zurück gegen die Abnahme des eigenthümlichen Widerstandes (s. oben S. 412. 414.) Hrn. Meissner war die Frage, ob nicht seine positive Schwankung nur auf dieser Widerstandsabnahme beruhe, um so näher gelegt, als er sich überzeugt zu haben glaubte, dass am unbeweglich ausgespannten Muskel die positive Schwankung stärker ausfalle, denn bei freigegebener Zusammenziehung.[4]

Wir selber haben oben S. 414 positive Schwankungen beim Tetanisiren ermüdeter Muskeln beobachtet, die sicher auf Widerstandsabnahme beruhten, da sie mit compensirtem Strome nicht bloss zu erscheinen aufhörten, sondern in negative Schwankung umschlugen.

In der That das Erste, was Hr. Meissner hätte thun müssen,[5] und was jetzt wir zu thun haben, ist zu prüfen, ob auch mit compensirtem Strome positive Schwankung bei Ein- [570] zelzuckungen und unvollkommenem Tetanus des Gastroknemius sich zeige.

---

[1] Henle's und Pfeufer's Zeitschrift u. s. w. 1863. 3. R. Bd. XVIII. S. 152.

[2] Virchow's Archiv u. s. w. Bd. XXIX. S. 446.

[3] S. oben S. 305.

[4] A. a. O. S. 57.

[5] S. oben ebenda.

Glücklicherweise für Hrn. Meissner ist dies wirklich der Fall. Ich habe die von ihm beschriebene Erscheinung am Gastroknemius mit compensirtem Strome zwischen Haupt- und Achillessehne in vielen Fällen gesehen, wenn auch scheinbar nicht so oft wie Hr. Meissner. Dagegen boten sich mir öfter die auch ihm nicht ganz entgangenen Fälle, wo bei Einzelzuckungen rein negative Ausschläge erfolgen. Ob dieser Unterschied zwischen seinen und meinen Wahrnehmungen daher rühre, dass Hr. Meissner auch durch Widerstandsabnahme bewirkte positive Schwankungen mitgezählt hat, oder von der verschiedenen Ableitung, deren wir uns bedienten, muss dahingestellt bleiben. Auch individuelle Beschaffenheit der Thiere kann, wie die Folge lehren wird, daran Schuld sein.

In vielen Fällen ist das Ergebniss des Versuches aber noch ein anderes. Wie nämlich Hr. Frithiof Holmgren bei einer unten näher zu besprechenden Untersuchung zuerst fand, ist die einer Einzelzuckung des Gastroknemius entsprechende Schwankung oft doppelsinnig. Hrn. Meissner's Elektro-Galvanometer versagte ihm diese Wahrnehmung wegen der Trägheit seines Magnetes (s. oben S. 440. Anm. 2). Die Schwankung setzt sich danach zusammen aus einem negativen Vorschlag, und aus einer darauf folgenden positiven Ablenkung.

Das Zweite, was Hr. Meissner hätte thun müssen, war zu untersuchen, ob die positive Schwankung bei Einzelzuckungen an allen Muskeln vorkomme, oder nur bestimmten Muskeln, wie dem Gastroknemius, eigen sei. Da Hr. Meissner am Gastroknemius den Strom vom Aequator und natürlichem Querschnitt abzuleiten glaubte, so fiel ihm nicht ein, zu versuchen, ob denn auch am regelmässigen Muskel der wirklich vom Aequator und natürlichem Querschnitt abgeleitete Strom bei Einzelzuckungen positive Schwankung zeige; und da ihm die Parelektronomie so fremd war, dass der Name in seiner am Gastroknemius geführten Untersuchung nicht vorkommt,[1] so dachte er nicht daran, sich zu fragen, ob positive Schwankung denn auch auftrete bei Einzelzuckungen eines [571] mit künstlichem Querschnitt aufliegenden Muskels. Beide Fragen müssten doch bejaht sein, ehe man in der positiven Schwankung das Fundamental-Phaenomen erkennen könnte, für welches Hr. Meissner sie ausgab.

Ich war natürlich bestrebt, auch diese Lücke auszufüllen. In jedem der oben geschilderten zahlreichen Tetanus-Versuche an regelmässigen Muskeln wurde stets auch der elektromotorische Erfolg bei Einzelzuckungen und unvollkommenem Tetanus beobachtet, bei Ableitung sowohl von natürlichem, wie von mechanischem, chemischem, thermischem Quer-

[1] Vergl. oben S. 311.

schnitt. Nie erhält man hier bei Einzelzuckungen oder unvollkommenem Tetanus positive Schwankung, wo bei gewöhnlichem Tetanus negative Schwankung erfolgt, den oben S. 408 erwähnten Fall ausgenommen, in welchem leicht zu zeigen ist, dass es sich um ganz etwas anderes handelt, als um die Meissner'sche Erscheinung. Am Triceps dagegen, dessen Bau, trotz der neulich erkannten Abweichung (s. oben S. 433), dem des Gastroknemius doch immer noch am nächsten steht, kommt positive Schwankung vor. Sie gehört also den beiden Muskeln an, welche auch bei gewöhnlichem Tetanus unter mannigfachen Umständen, zum Theil sogar ohne unser Zuthun, positive oder doppelsinnige Schwankung liefern.

Von diesem Standpunkt aus erscheint nun die Angelegenheit der positiven oder doppelsinnigen Schwankung bei Einzelzuckungen in ganz anderem Lichte. Diese Schwankung durfte allenfalls dem sehr paradox und wichtig scheinen, der in dem Gastroknemiusstrom einen gewöhnlichen Muskelstrom vor sich zu haben glaubte, einerlei mit dem Strome vom Längs- zum Querschnitt regelmässiger Muskeln. Wenn auch diese Vorstellung selber bei längerer Beschäftigung mit der Sache nicht hätte festgehalten werden sollen, so war es von ihr aus doch gerechtfertigt, die positive Schwankung bei Einzelzuckungen so aufzufassen, wie Hr. Meissner, und wie Viele nach ihm. Man denke sich aber, es sei, als Hr. Meissner die positive Schwankung bei Einzelzuckungen des Gastroknemius fand, die positive Schwankung bei gewöhnlichem Tetanus dieses Muskels und des Triceps schon bekannt gewesen. Man hätte schon [572] gewusst, dass diese letztere Schwankung nichts ist, als die unter gewissen Umständen sichtbar werdende negative Schwankung des vom oberen natürlichen Querschnitt ausgehenden Stromes; dass allem Vermuthen nach der zeitliche Verlauf der negativen Schwankungen des vom oberen und des vom unteren Querschnitt ausgehenden Stromes verschieden sei, und in Folge davon die doppelsinnigen Wirkungen erscheinen; endlich dass es in unserer Macht liege, von den beiden Schwankungen diese oder jene stärker hervortreten zu lassen. Wie wäre dann die Meinung über positive oder doppelsinnige Schwankung bei Einzelzuckungen des Gastroknemius und Triceps, und nur dieser Muskeln allein, ausgefallen? Hätte irgend Jemand in der positiven Schwankung etwas anderes erblickt, als die also auch unter diesen Umständen bemerkbare negative Schwankung des Stromes vom oberen natürlichen Querschnitt, in der doppelsinnigen Schwankung noch etwas mehr gesucht als den sein Zeichen wechselnden Unterschied der Schwankungen vom oberen und vom unteren Querschnitt?

So also werden wir jetzt über diese Erscheinungen zu urtheilen

haben. Aber freilich wird uns obliegen, den Beweis für die Richtigkeit unserer Auffassung noch etwas strenger zu führen.

Der Weg dazu ist uns durch das Vorige schon vorgezeichnet. Haben wir es in der Schwankung bei Einzelzuckungen, wie in der bei gewöhnlichem Tetanus, zu thun mit der algebraischen Summe der Schwankungen zweier entgegengesetzten Ströme, so muss von diesen Schwankungen der einen oder der anderen durch die uns jetzt geläufigen Mittel das Uebergewicht sich verschaffen lassen. Wir müssen also versuchen, wie die Schwankung bei Einzelzuckungen des Gastroknemius (um nur ihn zu nennen) sich gestaltet, wenn der Muskel längs dem Sehnenstreif der Tibialfläche aufgeschlitzt oder angeätzt, wenn er überdehnt, oder in Thon gehüllt wird.

Das Ergebniss dieser Versuche ist das erwartete. Ist die Einzelzuckung rein negativ, so wird sie doppelsinnig, oder auch rein positiv unter Umständen, welche das Hervortreten des Kniespiegelstromes begünstigen; Zerstören der parelektro- [573] nomischen Schicht am Achillesspiegel macht sie wieder rein negativ, oder verstärkt den negativen Abschnitt der doppelsinnigen Schwankung.[1] Im gleichen Sinn ändert sich die Schwankung bei unvollkommenem Tetanus.

Sehr regelmässig freilich sind diese Erfolge nicht. Man kann oft Gastroknemien aufschlitzen, anätzen, überdehnen, mit [574] Thon um-

---

[1] Beispiele. I. Gastroknemius. $+46^{\text{cgr}}$. *E* (Einzelzuckung): $-8^{\text{sc}}$; *U. T.* (Unvollkommener Tetanus): rein negativ bis zu etwa $50^{\text{sc}}$. Muskel aufgeschlitzt: $-127^{\text{cgr}}$. *E*: $+0{\cdot}5^{\text{sc}}$; $+1^{\text{sc}}$; *U. T.*: rein positiv, bis zu etwa $80^{\text{sc}}$. Achillesspiegel geätzt: $+140^{\text{cgr}}$. *E*: $-1^{\text{sc}}$; *U. T.*: rein negativ.

II. Gastroknemius. $+268^{\text{cgr}}$. *E*: $-5^{\text{sc}}$; $-8^{\text{sc}}$. Muskel überdehnt: $-107^{\text{cgr}}$. *E*: $+4^{\text{sc}}$. Nach Aetzung des Achillesspiegels versagt der Muskel weitere Zuckungen.

III. Gastroknemius. $+87^{\text{cgr}}$. *E*: $-$ Spur $+2{\cdot}5^{\text{sc}}$; $-0{\cdot}5$ $+2{\cdot}5^{\text{sc}}$; *U. T.*: unstetige, erst negative, dann positive Schwankung bis zu etwa $25^{\text{sc}}$. Achillesspiegel geätzt: $363^{\text{cgr}}$. *E* $-8^{\text{sc}}$; $-7{\cdot}5^{\text{sc}}$; $-6^{\text{sc}}$; $-6^{\text{sc}}$; *U. T.* rein negativ.

IV. Gastroknemius. $+25^{\text{cgr}}$. *E*: $+4^{\text{sc}}$. Es wird nur ein Punkt des Achillesspiegels geätzt. $30^{\text{cgr}}$. *E*: $+1{\cdot}5^{\text{cs}}$. Es wird mit dem Pinsel in der Längsmittellinie ein Strich über den Spiegel gezogen. $+109^{\text{cgr}}$. *E*: $-8^{\text{sc}}$. Spiegel über und über geätzt. $373^{\text{cgr}}$. *E*: $-9^{\text{sc}}$.

V. Triceps femoris. $+35^{\text{cgr}}$. *E*: $-1+5^{\text{sc}}$; $1+7^{\text{sc}}$; $-2+8^{\text{sc}}$. Jetzt $+43^{\text{cgr}}$. *U. T.*: Unstetige, erst negative, dann positive Schwankung. Nochmals *E*: $-1{\cdot}5+5^{\text{sc}}$. Nun Patellaspiegel geätzt. $+290^{\text{cgr}}$. *E*: $-9^{\text{sc}}$; $-10^{\text{sc}}$, und auch *U. T.* rein negativ.

VI. Gastroknemius. $+71^{\text{cgr}}$. *E*: $-0{\cdot}3+2$. Sehnenstreif an Tibialfläche geätzt: $-24^{\text{cgr}}$. *E*: $+5^{\text{sc}}$; $+4{\cdot}8^{\text{sc}}$. Achillesspiegel geätzt: $+380^{\text{cgr}}$. *E*: $-12^{\text{sc}}$; $-10^{\text{sc}}$; $-10{\cdot}5^{\text{sc}}$.

hüllen, ohne dass die negative Schwankung bei Einzelzuckungen positiv oder doppelsinnig wird. Andere Male kann man den Achillesspiegel anätzen, oder die Thonhülle entfernen, ohne dass die positive oder doppelsinnig gewordene, oder von vornherein so gewesene Schwankung rein negativ wird. Im Falle des thonumhüllt gewesenen Muskels rechtfertigt sich dieser Erfolg manchmal in sofern, als der Gastroknemius dann auch in der Ruhe absteigend wirksam bleibt, sichtlich wegen dauernd verbesserter Nebenschliessung durch das Perimysium und eine anhaftende Thonschicht.[1] Doch kommt es, wie im ersten der unten stehenden Beispiele, auch vor, dass diese Erklärung nicht passt. Ausserdem zeigt sich bei den Thonversuchen noch das Sonderbare, dass der positive Abschnitt der doppelsinnigen Schwankung dem negativen voraufgeht.

Es muss aber überhaupt bemerkt werden, dass es kaum etwas mehr Wandelbares giebt, als die elektromotorischen Wirkungen des Gastroknemius bei der Zusammenziehung. Man kann geradezu sagen, dass in Bezug darauf jeder Gastroknemius ein Individuum ist. Dies erklärt sich daraus, dass im Gastroknemiusstrom (s. oben S. 420) vier paarweise einander entgegengesetzte Componenten enthalten sind, welche bei der Zusammenziehung, wie wir zum Theil noch erfahren werden, sämmtlich unabhängig von einander sich verändern, und überdies, wenigstens paarweise, verschiedenen zeitlichen Verlauf ihrer Schwankung haben. Dazu kommen noch, um die Verwickelung zu krönen, die Nachwirkung, die

VII. Gastroknemius. Thonversuch.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Frei | + 79 $^{\mathrm{cgr}}$. | *E*: — 3 $^{\mathrm{sc}}$; . . . . | *U. T.*: —16 $^{\mathrm{sc}}$. |
| 2. | in Thon | + 12 „ | „ + 0·5 — 2. | |
| 3. | frei | +103 „ | „ — 4. | |
| 4. | in Thon | + 15 „ | „ + 1;<br>+ 1·5 — 1;<br>+ 2; . . . . | *U. T.*: — 12. |
| 5. | frei | +135 „ | „ + 0·5 — 25. | |

Achillesspiegel geätzt.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ueber | +1000 $^{\mathrm{cgr}}$. | *E*: —10;<br>—13; . . . . | *U. T.*: —80. |

Vollkommener Tetanus: —250 $^{\mathrm{sc}}$.

VIII. Gastroknemius. Thonversuch.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1. | Frei | +31 $^{\mathrm{cgr}}$. | *E*: — 3 $^{\mathrm{sc}}$. |
| 2. | in Thon | — 10 „ | „ + Spur — 1;<br>+ 0·4 — 1. |
| 3. | frei | + 25 „ | „ — 5 |
| 4. | in Thon | — 8 „ | „ + 0·7 |
| 5. | frei | + 15 „ | „ + 0·5 — 4 |
| 6. | in Thon | — 10 „ | „ + 0·5 — 1. |

[1] S. oben S. 378. 379.

Veränderung des Widerstandes, die verschiedene Art, wie die experimentellen Eingriffe des Auf- [575] schlitzens u. s. f. gelingen und vertragen werden. Es ist also eine Unzahl von Combinationen möglich, und nicht zu erwarten, dass man in jedem Falle den Erfolg sicher vorhersage. Alles, was billig verlangt werden kann, ist, dass man aus der zu Grunde gelegten Vorstellung die mannigfaltigen sich darbietenden Vorkommnisse ungezwungen zu erläutern vermöge, und dies gelingt meist ohne Schwierigkeit.

Inzwischen ist es bei dieser Sachlage andererseits geboten, nichts zu versäumen, was zur weiteren Befestigung eines hingestellten Satzes zu führen geeignet ist. Obschon an der gegebenen Erklärung der positiven Schwankung bei Einzelzuckungen des Gastroknemius in dem Zusammenhange, wie ich sie vortrug, bereits kaum gezweifelt werden dürfte, so soll dieser Erklärung durch die Untersuchung des zeitlichen Verlaufes jener Schwankung jetzt doch noch ein höherer Grad von Gewissheit verliehen werden. Es wird sich überdies daraus noch auf anderem Wege die Unhaltbarkeit der Meissner'schen Behauptungen ergeben.

## §. VII. Vom zeitlichen Verlaufe der Schwankung des Gastroknemiusstromes bei der Zusammenziehung.

Hr. Helmholtz hatte bekanntlich bald nach seinen ersten zeitmessenden Versuchen am Muskel und Nerven auch die wichtige Thatsache erkannt, dass der die secundäre Zuckung erregende Abschnitt der Curve, welche den zeitlichen Verlauf des Muskelstromes bei der Zuckung darstellt, etwa in die Mitte des Stadiums der latenten Reizung fällt.[1]

Auf Grund seines Satzes, dass elektrischen Reizen unter einer gewissen Stärke die Reizung nicht unmittelbar folge, verlegte A. v. Bezold den zuckungerregenden Theil der Schwankung sogar an den Anfang jenes Stadiums.[2]

Hr. Meissner führte diese ihm nicht unbekannten Thatsachen in seiner Abhandlung nicht an, sondern begnügte sich [576] damit, in seinem 'Bericht'[3] anzudeuten, dass die Schlussfolgerungen A. v. Bezold's fortan auf seine positive Schwankung, als auf die alleinige und wahrhafte Ursache der secundären Zuckung, zu beziehen seien. In der That hatten

---

[1] Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1854. S. 328.

[2] Monatsberichte u. s. w. 1861. S. 1023 ff.; — 1862. S. 199 ff.

[3] Bericht über die Fortschritte der Physiologie im Jahr 1861. Zeitschrift für rationelle Medicin. 1863. 3. R. Bd. XVI. S. 384.

weder Hr. Helmholtz noch A. v. Bezold über den Sinn der Schwankung während des erregenden Zeitabschnittes etwas Neues ausgesagt, vielmehr vom damaligen Standpunkt aus mit vollem Recht angenommen, es handle sich um eine negative Schwankung. Umgekehrt verhinderte aber auch nichts, ihre Zeitbestimmung ohne Weiteres auf die positive Schwankung, wie Hr. Meissner sie sich dachte, zu übertragen, ja das Eintreten der positiven Schwankung vor der Zusammenziehung, im Stadium der latenten Reizung, passte sogar ganz gut zu der jener Schwankung im Zuckungsmechanismus von Hrn. Krause zugeschriebenen Rolle.

Allein schon die Versuche, welche kurz darauf Hr. Frithiof Holmgren in meinem Laboratorium über die positive Schwankung anstellte, veränderten diese Lage der Dinge sehr zum Nachtheil der Meissner-schen Theorie. Hr. Holmgren erkannte die Nothwendigkeit, sich für diese Versuche möglichst leichter Magnetspiegel zu bedienen, und er war es erwähntermaassen (s. oben S. 444), der mit solchem Spiegel zuerst die Hrn. Meissner entgangenen doppelsinnigen Schwankungen sah. Die Schwankung stellte sich ihm in gewissen Fällen rein negativ, in anderen rein positiv dar. Dazwischen lag eine Reihe von Fällen, welche sogar die Mehrzahl bildeten, in denen zuerst eine kleine negative, dann eine positive und endlich eine grössere negative Ablenkung des Magnetes erschien. Hr. Holmgren richtete nun meinen 'Froschunterbrecher'[1] so ein, dass der im Augenblicke der Reizung geschlossene Muskelstrom im Augenblicke der Zusammenziehung wieder unterbrochen wurde. So erhielt er im Bussolkreise nur die Stromwirkung während der latenten Reizung. Mittels ähnlicher Kunst- [577] griffe konnte er aus dem Stadium der wachsenden und aus dem der sinkenden Energie, wie er berichtet, mit genügender Schärfe beliebige Stücke ausschneiden. Er fand, dass während der latenten Reizung die Wirkung stets negativ ausfiel, positiv dagegen in den meisten Fällen während des Wachsens der Energie; im Stadium sinkender Energie erschien sie ihm stets wieder negativ, und er glaubte in ihr meine 'Nachwirkung' zu erkennen.[2] Durch diese Versuche war Hrn. Meissner's Behauptung, dass die negative Schwankung Folge der Gestaltveränderung des Muskels sei, insofern widerlegt, als schon während der latenten Reizung negative Schwankung nachgewiesen war. Hr. Holmgren folgerte ausserdem daraus die Unrichtigkeit der

[1] S. oben Bd. I. S. 215. Taf. III. Fig. 12.

[2] Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1864. S. 291. — Om den verkliga naturen af den 'positiva strömfluctuationen' vid enkel muskelryckning. Upsala läkareförenings förhandlingar, Bd. II. 1867. S. 160; — Uebersetzt von Dr. Rabl-Rückhard im Archiv für Anatomie u. s. w. 1871. S. 237.

Meissner'schen Lehre, wonach die secundäre Zuckung Folge der positiven Schwankung sein soll; denn da, nach ihm, diese Schwankung dem Stadium der wachsenden Energie angehört, nach Hrn. Helmholtz aber der Reiz für die secundäre Zuckung dem Stadium der latenten Reizung, so konnte dieser Reiz nicht jene Schwankung sein. Wir werden aber sehen, dass in diesem Punkte Hrn. Holmgren's Ergebniss einer Berichtigung bedurfte.

Hr. Holmgren hat über das Wesen der positiven Schwankung einige theoretische Vermuthungen geäussert, die ich nicht mit Stillschweigen übergehen kann.

Zur Erklärung der positiven, und auch der negativen Schwankung hat er nämlich zunächst an eine Elektricitätsentwickelung in den Muskeln durch gegenseitige Reibung der Bündel gedacht. Verschiedene Abschnitte des Muskels sollten in Folge verschieden starker Innervation verschieden kräftig sich zusammenziehen und dadurch sollten die bald positiven, bald negativen Schwankungen zu Stande kommen. Aber die Bündel reiben sich nicht aneinander, denn sie sind miteinander verwachsen. Bei Reibung zweier gleichartigen Flächen ent- [578] steht überhaupt keine Elektricität. Entstände wirklich welche bei Reibung zweier Muskelbündel, so müsste doch ein Bündel positiv, das andere negativ werden. Ohne die willkürlichsten Annahmen bliebe unverständlich, wie dergestalt ein Strom durch den Bussolkreis im einen oder anderen Sinn entstehe. Die Stromschwankungen aber, die Hr. Holmgren sah, als er den in der kleinen Streckvorrichtung ausgespannten Gastroknemius mit einem anderen Muskel, oder mit Elfenbein, Siegellack, Glas, Kautschuk u. d. m. strich, sind auf Rechnung der Glättung und Runzelung des Achillesspiegels[1] zu bringen.

Nachdem Hr. Holmgren die von mir beschriebenen Neigungsströme durch Dehnung[2] kennen gelernt hatte, kam er auf den Gedanken, dass die Stromschwankungen bei der Zusammenziehung durch Veränderung des Winkels zu erklären sein möchten, unter dem die Bündel an den Achilles- und Kniespiegel stossen. Ich hatte dieselbe Vermuthung bereits in Bezug auf die Stromschwankungen durch Dehnung geäussert,[3] und sie im Stillen natürlich auch für die positive Schwankung gehegt, obwohl ich mir sagte, dass diese Vermuthung kaum damit stimme, dass auch am gespannten Muskel positive Schwankung erscheine. Dass bei freigegebener Zusammenziehung die Verminderung der Neigung der Bündel

---

[1] S. oben S. 306 ff.
[2] S. oben S. 183 ff.
[3] S. oben S. 306.

gegen die Sehnenspiegel, die sich am erhärteten Muskel deutlich kundgiebt,[1] eine Abnahme der Neigungsstromkraft bewirke, ist dagegen nicht zu bezweifeln. Hier kommt diese Wirkung deshalb nicht in Betracht, weil, wie sich schliesslich gezeigt hat, auch die positive Schwankung zum Theil in das Stadium der latenten Reizung fällt.

Hrn. Julius Bernstein's bewundernswürdige Arbeiten haben nämlich seitdem das Mittel gewährt, den Versuchen über den zeitlichen Verlauf der Stromschwankung bei der Zuckung ungleich grössere Schärfe und Sicherheit zu verleihen. Die Dinge haben sich dadurch etwas anders gestaltet, als Hr. [579] Holmgren sie sich dachte, für Hrn. Meissner jedoch nicht günstiger.

Hr. Sigmund Mayer untersuchte nämlich jetzt im Heidelberger Laboratorium den Verlauf der Schwankung des Gastroknemius am Differential-Rheotom.[2] Allerdings handelt es sich dabei nicht mehr um Einzelzuckungen, sondern um eine mehr oder minder gedrängte Reihe von Zuckungen, die fast zu Tetanus verschmelzen. Es ist aber gerade wichtig zu erfahren, dass am Gastroknemius auch die negative Schwankung bei gewöhnlichem Tetanus in jedem der Stösse, aus denen sie besteht, einen positiven, die positive Schwankung bei unvollkommenem Tetanus in jedem ihrer Stösse einen negativen Antheil birgt.

Aus Hrn. Sigmund Mayer's Beobachtungen folgt, dass an einer einzelnen Stromschwankung des Gastroknemius in der Regel zwei Abschnitte zu unterscheiden sind. Zuerst findet eine negative Schwankung statt; im Mittel aus 10 Versuchen beginnt sie 0″·004, und erreicht sie ihr Maximum 0″·007 nach der Reizung. Auf sie folgt eine positive Schwankung, welche 0″·012 nach der Reizung ihr Maximum erreicht, und etwa 0″·017 nach der Reizung endet; das positive Maximum bleibt gewöhnlich unter dem negativen.[3] Das Stadium der latenten Reizung würde frühestens bei etwa 0″·010 enden, kann sich aber auch bis zu 0″·020 erstrecken. Hrn. Mayer's Ergebniss zeigt also, dass nicht bloss die negative Schwankung, sondern auch die positive Schwankung mindestens bis zu ihrem Maximum dem Stadium der latenten Reizung angehört.

---

[1] S. oben S. 50.

[2] S. die Beschreibung dieses Instrumentes in Pflüger's Archiv u. s. w. 1868. Bd. I. S. 175 ff.; — Bernstein, Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme. Heidelberg 1871. S. 9 ff.; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1871. Bd. CXLII. S. 54; — Wiedemann, Lehrbuch des Galvanismus u. s. w. Bd. II. Abth. II. Braunschweig 1874. S. 129. §. 804. — Wo im Folgenden Theile des Instrumentes zu bezeichnen sind, bediene ich mich der von Hrn. Bernstein eingeführten Notation.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 655.

Hierin also hatte Hr. Holmgren sich geirrt; auch folgt am Differential-Rheotom auf die positive keine zweite negative Schwankung, wie er bei seiner Versuchsweise gefunden zu haben [580] glaubte. Da er diese nicht näher beschrieben hat, so bleibt der Grund dieses Widerspruches vorläufig unbekannt.

Ich habe Hrn. Sigmund Mayer's schöne Versuche bestätigt und erweitert. Das Differential-Rheotom, dessen ich mich bediente, ist von Hrn. Zimmermann in Heidelberg geliefert, und von Hrn. Sauerwald überarbeitet. An der elektromagnetischen Maschine,[1] die das Rad dreht, brachte ich an Stelle des doppelten Voltameters mit Chlorcalciumlösung $u$, $v$, welches den Funken vernichten soll, einen inductionsfrei gewickelten[2] Neusilberdraht von $45^{cm}$ Länge und $0 \cdot 23^{mm}$ Durchmesser an. Zwar blieb ein mit der Lupe erkennbares Fünkchen zurück, aber auch mit dem Chlorcalcium-Voltameter war ein solches da, während die Maschine mit dem Drahte so gut wie mit dem Voltameter lief, und die Vorzüge des Drahtes vor letzterem keiner Auseinandersetzung bedürfen. Die Maschine wurde stets mittels Eines Daniells im festen, und ihrer vier im beweglichen Kreise in Thätigkeit versetzt.

Ich kann nicht sagen, dass ich mit der Regulation der Umdrehungsgeschwindigkeit zufrieden gewesen wäre. Unstreitig wirkt der Regulator, wie er nicht anders kann, da die Maschine bei gespannter Feder schneller läuft als bei erschlaffter. Aber der von Hrn. Exner für seine Wirkung angeführte Beweis, dass der Ton einer durch die Maschine gedrehten Sirene fünf Minuten lang seine Höhe genau bewahrt habe, zeigt nur, dass die Maschine beständige Geschwindigkeit erlangt. Dies thut jedes Uhrwerk, worin ein mit der Geschwindigkeit wachsender Widerstand, wie Windflügel oder Reibung ihn erzeugen, schliesslich mit der beschleunigenden Kraft in's Gleichgewicht geräth. Eine beständige Geschwindigkeit annehmen und die Geschwindigkeit selbstthätig reguliren, sind ganz verschiedene Dinge. Auf alle Fälle vermag der Regulator unserer Maschine nur in engen [581] Grenzen die Geschwindigkeit beständig zu erhalten, wie sich sogleich zeigt, wenn man absichtlich die Stromstärke ändert. Abgesehen hiervon liegt in dem Quecksilber-Umschalter ein nicht zu beseitigender Quell von Unregelmässigkeiten. Es war leicht zu beobachten, dass bei reichlich gefüllten Gefässen des Umschalters die Maschine schneller lief als bei minder vollen. Bei schnellem Gange aber wurde

---

[1] Sie ist von Hrn. Sigmund Exner beschrieben und abgebildet. Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien. 1868. Bd. LVIII. Abth. II. S. 602. — Die oben gebrauchten Buchstaben sind Hrn. Exner's Notation.

[2] S. oben S. 190.

stets Quecksilber aus den Gefässen geworfen, so dass deshalb die Maschine mit der Zeit langsamer gehen muss. Ich glaube, dass die moderne Technik mehrere Apparate besitzt, welche den Dienst, das Differential-Rheotom mit grosser und beständiger Geschwindigkeit zu drehen, besser und bequemer versehen würden, als diese Maschine. Mindestens sollte zur Verminderung des Luftwiderstandes der Regulator in eine Trommel eingeschlossen sein, wie das entsprechende Organ zur Selbstauslösung, mit dem ich das Helmholtz'sche Myographion versah.[1]

Auch am Rade des Rheotoms selber erlaubte ich mir eine Aenderung, die ich für eine Verbesserung halte. Die stählernen Spitzen $p_1$, $p_2$, die zuerst mit Kupfersulfat verkupfert, dann verquickt, die Leitung zwischen den Quecksilberrinnen $q_1$, $q_2$ herstellen, bewährten sich in meinen Versuchen nicht gut. Die Kupferhaut haftet ihnen zu locker an; beim schnellen Durchstreichen der Quecksilberkuppen wird sie bald zerstört; man hat oft Mühe sie zu erneuern und die Spitzen wieder zu verquicken. Galvanische Versilberung und Vergoldung leisteten wo möglich noch weniger. Mit Feuervergoldung giebt sich kein Arbeiter mehr ab. Schliesslich ersetzte ich die Stahlspitzen durch zwei passend zugeschnittene Streife Blattkupfer, die in ein kleines, von Hrn. Sauerwald aus Hartgummi und Stahl höchst zweckmässig gearbeitetes Organ eingeklemmt werden, und sich natürlich vollkommen leicht und sicher verquicken lassen. Seitdem habe ich nicht wieder mit der Schwierigkeit zu kämpfen gehabt, an dieser Stelle sicheren und beständigen Schluss zu erhalten. Im Verlauf [582] einiger Tage zwar werden die Kupferstreife durch das Quecksilber angefressen, und müssen dann erneuert werden, was aber das leicht und stets gleichmässig gelingende Werk weniger Minuten ist, um so mehr, als man die zugeschnittenen Streife vorräthig hält. In der Zeit, wo nicht gearbeitet wird, lässt man die Spitzen nicht in das Quecksilber tauchen, welches sie verunreinigen, indem es ihre Zerstörung beschleunigt. Sie bleiben auch an der Luft gut mit Quecksilber benetzbar. Bemerkenswerth ist, dass die Quecksilberrinnen einen unerwartet grossen und überdies veränderlichen Widerstand haben, der unstreitig von unvollkommener Berührung zwischen Stahl und Quecksilber herrührt.[2]

Endlich den Kupferdraht $d$ ersetzte ich durch einen Platindraht, der vielleicht ein paar Mal öfter erneuert werden musste, dafür aber stets sicher metallische Berührung bot.

---

[1] A. v. Bezold, Untersuchungen über die electrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861. S. 85. Taf. I. Fig. 1 und 2.

[2] Siemens in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1860. Bd. CX. S. 11. Anm. — Vergl. oben Bd. I. S. 205.

Ich begann meine Arbeiten am Rheotom damit, zu bestimmen, welchen Bruchtheil des Stromes das in Drehung begriffene Rheotom im Bussolkreise bestehen liess. Schaltet man die Rinnen $q_1$, $q_2$ in den Bussolkreis ein, in welchem eine beständige Kette sich befindet, und verschiebt man sie so, dass die Spitzen $p_1$, $p_2$ während eines Bruchtheiles $\frac{n}{100}$ einer Umdrehung das Quecksilber der Rinnen berühren, so müsste man, falls nicht andere Umstände dazwischentreten, von der Umlaufsgeschwindigkeit an, wo die Ablenkung beständig wird, bei jeder Geschwindigkeit eine Ablenkung $a$ erhalten, die zu der $A$ bei dauerndem Schlusse zwischen $q_1$, $q_2$ sich verhielte, wie $n : 100$; oder, wenn man $a : A = Q$ setzt, müsste man haben

$$Q = \frac{n}{100}.$$

Den Bruch $n : 100$ kann man leicht bestimmen, indem man bei am Schieber festgeklemmten Rade zuerst die Schieberstellung abliest, bei der die zweite Spitze das Quecksilber ihrer Rinne berührt, dann die Stellung, bei der die erste Spitze das Quecksilber ihrer Rinne verlässt. Es ist dies die von [583] Hrn. Bernrtein mit $Sch_1 — Sch_2$ bezeichnete Winkelgrösse. Man kann natürlich auch umgekehrt dem Bruch $n : 100$ innerhalb der durch den Apparat gestatteten Grenzen, an meinem Exemplare beiläufig zwischen Null und $\frac{6 \cdot 65}{100} = \frac{1}{15 \cdot 375}$, jeden beliebigen Werth geben.

Es fand sich, dass $Q$ stets kleiner ausfällt, als es sollte, und zwar um so kleiner, je grösser die Geschwindigkeit des Rades. Mit den verquickten Kupferspitzen blieb bei einer und derselben Geschwindigkeit, und wenn sonst nichts sich änderte, $Q$ beständig genug. Allein bei wachsender Geschwindigkeit nahm $Q$ schnell ab. $Sch_1 — Sch_2$ war z. B. $= 0 \cdot 03$ gemacht; $Q$ hätte unter den obigen Annahmen also $= \frac{1}{33 \cdot 3}$ sein müssen. Statt dessen war $Q$ bei ganz langsamem Gange (52 Fadenumläufe in der Minute) $= \frac{1}{40}$, bei mittlerem Gange (67 Umläufe) $= \frac{1}{50}$, bei schnellstem Gange (82 Umläufe) $= \frac{1}{66}$. Grösser als $\frac{1}{37 \cdot 7}$ sah ich bei diesem Werthe von $Sch_1 — Sch_2$ $Q$ beiläufig nie.

Was den Grund dieses Verhaltens betrifft, so wäre denkbar, dass bei grösserer Geschwindigkeit die Quecksilberkuppen nicht Zeit haben, zwischen dem Abreissen der Spitzen und deren Wiedereintauchen ihre

Gleichgewichtsgestalt anzunehmen. Ihre Figur würde gleichsam stetig so entstellt, dass das Eintauchen der Spitzen mehr verzögert würde, als ihr Abreissen. Es ist möglich, dass ein Einfluss der Art stattfindet; der Augenschein lehrt aber, dass er nicht von Belang sein kann, denn bei seitlicher Betrachtung der Quecksilberkuppen bemerkt man nichts von der vorausgesetzten Entstellung, die der Beobachtung sich nicht entziehen könnte. Es giebt denn auch noch einen anderen Grund für die mit der Geschwindigkeit abnehmende Grösse von $Q$. In den Rollen der Bussole ist Gelegenheit zur Induction, d. h. zur Bildung eines Extrastromes gegeben, und in Folge davon findet während des kurzen Schlusses der Strom nicht Zeit, sich vollständig zu entwickeln. Die Richtigkeit dieser Erklärung zeigt sich darin, dass $Q$ wirklich von der Geschwindigkeit unab- [584] hängig wird, wenn man bei passend verstärktem Strome die windungsreichen Rollen der Bussole durch eine einzige Windung ersetzt, also die Induction auf das geringste Maass beschränkt. Diese Einsicht ist wichtig, da, wenn die erste Vermuthung richtig gewesen wäre, die Brauchbarkeit des Rheotoms zu Zeitmessungen sehr zweifelhaft sein würde. Durch die Induction dagegen wird die Wahrnehmung des zeitlichen Verlaufes einer Stromschwankung nur insofern gestört, als die Stärke der Wirkungen vermindert wird. So lange Widerstand des Kreises, Potential der Rollen auf sich selber und Schliessungszeit beständig bleiben, geschieht aber diese Verminderung proportional der Stromstärke, und sie ist also als eine vergleichsweise gutartige Störung anzusehen. [Wegen der Induction nimmt $Q$ auch schneller ab als die Schliessungszeit, wenn man diese bei beständiger Geschwindigkeit durch Verstellen der Rinnen kürzt. Daher im Laufe der Versuche $Q$ merklich sinkt, weil die Spitzen Quecksilber aus den Rinnen werfen, und minder tief eintauchen.]

Im Uebrigen folgte ich der von Hrn. Bernstein für den Gebrauch des Rheotoms gegebenen Anleitung, und verweise deshalb auf sein Werk. Bei nachstehenden Versuchen betrug, wo es nicht anders gesagt ist, die Winkelgrösse $Sch_1 — Sch_2$ 0·03 des Kreisumfanges. Das Rad drehte sich in 1″ 8·85 Mal. Der Zeitwerth eines Hundertels war also 0″·00113. Der Strom des ruhenden Muskels war compensirt. Tetanisirt wurde, während das Rad stetig umlief, mittels eines grossen Schlitteninductoriums ohne Drahteinlage, in dessen Hauptkreise zwei grosse Grove säulenartig angeordnet sich befanden. So kräftige Vorrichtungen sind nöthig, weil der Strom im Hauptkreise vollends nicht Zeit hat, während die Spitze $p$ den Draht $d$ streift, seine Höhe zu erreichen.

Es gelang mir bald, die von Hrn. Sigmund Mayer am Gastroknemius beschriebene Erscheinung einer erst negativen, dann positiven Wirkung zu beobachten. Das Maximum der negativen Wirkung fand ich in

einem sorgfältig geleiteten, tadellos gelungenen Versuche bei 0''·0079, das der positiven bei 0''·0125 nach der Reizung, was mit Hrn. Mayer's Angaben (s. oben S. 451) so genau wie möglich übereinstimmt.

Was ich mir hier zuerst vorsetzte, war, den Einfluss festzustellen, den auf den Verlauf der Schwankung solche Versuchsweisen üben, welche die Schwankung des Kniespiegel- oder des Achillesspiegelstromes verstärken: um so auch hier [585] zu beweisen, dass der negative Abschnitt der Schwankung vom Achilles-, ihr positiver Abschnitt vom Kniespiegel ausgeht. Bei diesen Versuchen verfolgte ich nicht mehr, durch Rücken des Schiebers von Theilstrich zu Theilstrich, jedesmal den ganzen Verlauf der Schwankung. Dies bedingt so häufiges Tetanisiren, dass leicht dem Muskel nachher zu weiteren Versuchen die Kräfte versagen. Ohnehin wurde in meinen Versuchen ein Muskel zuweilen 20—30 Mal tetanisirt. Ich stellte also gewöhnlich den Schieber so ein, dass schon gut ausgeprägt die negative, dann so, dass ebenso die positive Schwankung erscheinen musste. Nachdem ich so des normalen Verhaltens des Muskels mich versichert hatte, schritt ich zum Versuch, indem ich den Muskel längs dem Sehnenstreife der Tibialfläche aufschlitzte, anätzte, ihn überdehnte, oder in Thon hüllte.

Ich fürchtete anfangs, dass die Nachwirkung sich sehr störend einmischen würde. Doch schien sie hier kaum vorhanden, wie ich glaube, weil bei der geringen Zahl reizender Stromstösse in der Secunde, ihr zwischen den Einzelzuckungen Zeit blieb, sich grossentheils zu zerstreuen.

Die Versuche mit Ueberdehnung misslangen, insofern es nicht glückte, die überdehnten Muskeln noch so oft wie nöthig erfolgreich zu tetanisiren. Bei gewöhnlichem Tetanus oder bei Einzelzuckungen kann eine einzige Beobachtung ein entscheidendes Ergebniss liefern: am Differential-Rheotom bedarf es dazu stets einer gewissen Anzahl von Bestimmungen.

Dagegen gelang es oft, mittels des Aufschlitzens und des Anätzens des Muskels längs des Sehnenstreifes der Tibialfläche, und mittels der Thonumhüllung, die positive Wirkung zu verstärken, die negative Wirkung zu schwächen, wie auch mittels des Anätzens des Achillesspiegels die doppelsinnige [586] Wirkung in rein negative zu verwandeln. Ich gebe unten [1] Beispiele solcher Versuche, von denen man übrigens nicht

[1] Beispiele. — In nachstehenden Tabellen enthält der erste Stab, *Sch*, die Schieberstellungen, bei welchen die in den folgenden Stäben auf derselben Zeile verzeichneten Ausschläge vom compensirten und tetanisirten Muskel am Rheotom erhalten wurden. Die Reihenfolge der Stäbe entspricht der Folge der Versuche. Zwei Zahlen nebeneinander im Stabe bedeuten, dass die Prüfung wiederholt vorgenommen wurde, gewöhnlich aber erst, nachdem alle übrigen ersten Zahlen des

erwarten darf, dass jedes in allen Stücken vollkommen sei. Schwierigere Versuche als diese wird es nur wenige geben, und man muss, im Einzelnen über manchen Anstoss hinwegsehend, froh sein, wenn aus ihrer Gesammtheit die gesuchte Wahrheit mit überzeugender Sicherheit quillt.

Es wird danach ein Zweifel über den Ursprung der positiven und negativen Wirkungen wohl kaum noch bleiben. Erstere sind der Ausdruck der negativen Schwankung des Kniespiegels, letztere rühren vom Achillesspiegel her. Und es verdient gewiss Beachtung, dass schon Hr. Sigmund Mayer, [587] dem diese Einsicht ganz fremd war, be-

---

Stabes beobachtet worden waren. Alle Versuche sind an Gastroknemien angestellt. Die Aetzung geschah stets mit Milchsäure ($\bar{L}$ : HO : : 1 : 1).

I.

+ 200 cgr. Am Rheotom, nicht compensirt, in Ruhe: +11 sc.

| *Sch* | | Sehnenstreif der Tibialfläche geätzt. |
|---|---|---|
| 7 | —14 | — 4 |
| 12 | +11 | +16; +14 |

Die negative Schwankung erscheint vermindert, die positive erhöht.

II.

+ 136 cgr. Am Rheotom, wie in Tabelle I: +4·5 sc.

| *Sch* | | Achillesspiegel geätzt |
|---|---|---|
| 6 | 0 | |
| 7 | — 2·5 | |
| 9 | —13; —13 | —13 |
| 11 | + 4 | |
| 12 | + 5; + 3 | —12 |
| 15 | 0 | —10 |
| 18 | | — 8 |
| 20 | | — 5 |

Die doppelsinnige Schwankung ist rein negativ geworden.

III.

+36 cgr. Am Rheotom: +0·5 sc.

| *Sch* | | Muskel aufgeschlitzt. —208 cgr. Am Rh.: —4·5 sc. | Achillesspiegel geätzt. |
|---|---|---|---|
| 3 | —4 | —3; –1·5 | |
| 4 | —5·5 | —5; —4·5 | |
| 7 | +3 | +5; +4 | — 7 |
| 8 | +2·5 | +4·5 | —10; —9 |
| 12 | | | — 8 |

IV.

+3·5 cgr. Am Rheotom: Null.

| *Sch* | | Muskel aufgeschlitzt. 199 cgr. Am Rh.: —6·5 sc. | Achillesspiegel geätzt. |
|---|---|---|---|
| 5 | —13 | —4·5 | |
| 6 | —14; —13·5 | | |
| 6·5 | | —7 | — 3 |
| 7 | —14 | —6·5 | |
| 8 | — 2·5 | –1 | |
| 9 | + Spur | | — 6; —4 |
| 9·5 | | | –10 |
| 10 | + 5 | +8·5; +7 | — 4 |
| 10·5 | | +8·5 | |
| 11 | + 1·5 | | |
| 12 | 0 | | |
| 13 | | | — 5 |

Das Aufschlitzen hat die negative Schwankung verkleinert, die positive erhöht; Anätzen des Achillesspiegels macht die Schwankung rein negativ.

merkt: „An Muskeln [588] mit starkem Muskelstrom habe ich den „positiven Theil der Curve gewöhnlich vermisst, während die Curve regel- „mässig die beschriebene ist, wenn die Muskeln von Haus aus schwach „elektromotorisch wirksam, oder durch Aufbewahren der Frösche in Eis „künstlich parelektronomisch gemacht worden waren.“ [1] Was Hrn. Mayer der Zufall bot, haben wir nach Willkür herbeizuführen gelernt, indem wir den Achillesspiegel in elektromotorischer Beziehung künstlich in den Zustand versetzten, in welchem er sich in Hrn. Mayer's „Muskeln mit starkem Muskelstrom“ von Natur befand.

Bei alledem erheischt nunmehr die Vorsicht, dass wir mit den uns jetzt zur Verfügung stehenden Mitteln auch regelmässige von Längsschnitt und natürlichem sowohl wie künstlichem Querschnitt abgeleitete Muskeln auf den zeitlichen Verlauf ihrer Stromschwankung prüfen, um zu sehen, ob sich an ihnen etwas dem Vorgang am Gastroknemius Aehnliches zeige. Nach dem elektromotorischen Erfolge bei Einzelzuckungen und unvollkommenem Tetanus regelmässiger Muskeln (s. oben S. 444. 445.) ist dies zwar sehr unwahrscheinlich, allein in diesem Gebiete muss auch das Unwahrscheinlichste durch den unmittelbaren Versuch widerlegt sein, ehe sein Nichtstattfinden angenommen werden darf.

Ich habe diese Untersuchung mit aller Sorgfalt durchgeführt. Am Gracilis und Sartorius habe ich den Versuch mit natürlichem Querschnitt

V.

Thonversuch. O bedeutet ohne, M mit Thon.

| | O | M | O | M | O | M |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Sch* | +38 cgr. | −31 cgr. | +24 cgr. | −15 cgr. | +20 cgr. | −19 cgr. |
| | Am Rheotom: | Am Rheot.: | Am Rheot.: | Am Rheot.: | Am Rheot.: | Am Rheot.: |
| | +1 sc | −1·5 sc | +1 sc | −0·5 sc | +1 sc | −0·5 sc |
| 6 | −10; −13 | +1 | −11 | + Spur | | |
| 6·5 | | | | + 1 | | +5 |
| 7 | | | | +13 | −1 | +7 |
| 7·5 | | | −16·5 | | | |
| 8 | | | −17 | | | |
| 9 | | | −16·5 | +13 | −3 | |
| 10 | + 7·6 | +2·5 | −13 | | −3·5 | +4 |
| 10·5 | | +3·5 | | | | |
| 11 | +10 | +4·5 | − 8·5 | | − 4 | |
| 12 | + 5 | +4 | − 5 | | | |
| 13 | + 1 | | | | | |

Dreimal nach einander bewirkt Umhüllung mit Thon, dass die negative Schwankung zurücktritt, die positive siegt. Es darf nicht übersehen werden; dass, wo im dritten Stabe (M) die positiven Zahlen kleiner als im zweiten Stabe (O) sind, dies die Folge der Nebenschliessung durch den Thon ist, wie denn auch blosse Verminderung negativer Wirkung durch Thonumhüllung nichts bedeutet.

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 656.

auf verschiedenen Stufen der Parelektronomie, am Gracilis auch mit thermischem Querschnitt angestellt, und habe in meinen zum Ueberdruss wiederholten Prüfungen nie andere als absolut negative Schwankung gesehen.[1]

---

[1] Beispiele. Bezeichnungen die nämlichen wie oben. Die vier ersten Versuche sind am Gracilis angestellt.

I.

| *Sch* | Unterer natürlicher | Oberer Querschnitt |
|---|---|---|
| | +243 cgr. Am Rheotom: +3·5 sc | +318 cgr. Am Rheotom: +4·8 sc |
| 3 | —1·5 | —0·8 |
| 6 | —3·6 | —1 |
| 7 | —7 | —1·4 |
| 9 | | —2 |
| 10 | —5 | |
| 12 | —2·5 | —1·3 |
| 14 | —1 | |
| 15 | | —1·2 |
| 16 | —1 | |
| 18 | | —0·8 |
| 20 | —1·5 | |
| 22 | 0 | —0·6 |
| 24 | 0 | 0 |
| 28 | 0 | |

II.

| *Sch* | Oberer natürlicher | Unterer Querschnitt |
|---|---|---|
| | +248 cgr. Am Rheotom: + 4·7 sc | +136 cgr. Am Rheotom: +3 sc |
| 3 | 0 | 0 |
| 6 | —3·5 | 0 |
| 9 | —8 | —2·5 |
| 12 | —5 | —2 |
| 15 | —3·5 | —1 |
| 18 | —2·5 | |
| 20 | —1·5 | — Spur |
| 25 | — Spur | |
| 28 | 0 | |

III.

| *Sch* | Unterer thermischer Querschnitt | Oberer natürlicher Querschnitt |
|---|---|---|
| | +397 cgr. Am Rheotom: +10·5 sc | +15 cgr. Am Rheotom: Null |
| 2 | 0 | |
| 4 | —0·5 | 0 |
| 6 | —2·5 | —0·8 |
| 7 | —5 | |
| 9 | —6·5 | —3·5 |
| 11 | —2 | |
| 12 | —4 | —3·5 |
| 13 | —4 | |
| 14 | —3·5 | —2·8 |
| 16 | —2·5 | —2·3 |
| 18 | —1·5 | |
| 20 | | —1·5 |
| 22 | | —1·7 |
| 25 | | 0 |

IV.

| *Sch* | Oberer thermischer Querschnitt | Unterer natürlicher Querschnitt |
|---|---|---|
| | +489 cgr. Am Rheotom: +7 sc | +39 cgr. Am Rheotom: Null |
| 4 | 0 | 0 |
| 6 | —2 | —1·8 |
| 9 | —1·2 | —3·5 |
| 12 | —1·2 | —1·8 |
| 13 | —1·3 | —1·5 |
| 16 | | —1 |
| 19 | | —0·8 |
| 22 | —0·8 | — Spur |
| 24 | 0 | |

Der Triceps femoris dagegen zeigt, wie wiederum nach seinem Verhalten bei Einzelzuckungen und Tetanus zu erwarten war, am Rheotom dieselben Erscheinungen, wie der Gastroknemius, zuerst einen negativen, dann einen positiven [589] Abschnitt seiner Schwankungscurve, von denen ersterer [590] mit Entwickelung des Patellaspiegelstromes, letzterer mit der des oberen Stromes stärker hervortritt.[1]

---

V.

An beiden Enden ist wegen hoher Parelektronomie der natürliche Querschnitt gegen Längsschnitt positiv.

| | Unterer natürlicher | Oberer Querschnitt |
|---|---|---|
| *Sch* | —44 cgr. | —31 cgr. |
| | Am Rheotom: | Am Rheotom: |
| | — Spur | Null |
| 3 | 0 | |
| 6 | — Spur | 0 |
| 9 | —1 | — Spur |
| 12 | —1 | — Spur |
| 15 | —1 | 0 |
| 20 | 0 | |

Dieser Sartorius war derselbe, an dem schon die oben S. 422 Anm. 1 mitgetheilten Beobachtungen angestellt worden waren. Ein anderer, an beiden Enden bis zur Positivität des natürlichen Querschnittes gegen den Längsschnitt parelektronomischer Muskel kam mir seitdem nicht vor. Ueber die der Seltenheit dieses Vorkommnisses beizulegende Bedeutung s. oben S. 393.

[1] Beispiele. Triceps. Werth eines Theilstriches des Rades $\frac{1}{1200}''$.

| | I. | | II. | |
|---|---|---|---|---|
| *Sch* | —5 cgr. Am Rheotom: Null | Patellaspiegel geätzt: +246 cgr. Am Rheotom: +28 sc. | —52 cgr. Am Rheotom: 7·3 sc. | Das rothe Fleisch (der obere schräge Querschnitt) geätzt: —234 cgr. Am Rheotom: —37 sc |
| 2 | —1 | | — 0·6 | + 7 |
| 4 | —1 | —1 | | + 4·5 |
| 6 | —1 | —2 | — 1·3 | + 2·4 |
| 8 | —0·8 | —6 | | + 7·5 |
| 10 | +3·5 | | | |
| 12 | +7·3 | —3·5 | +10 | +10·6 |
| 14 | +9 | | | |
| 16 | +9·6 | —1·8 | +12 | +10·5 |
| 18 | +8·6 | | | |
| 20 | +8·4 | —1·4 | + 5 | +10·3 |
| 22 | +7·2 | | | |
| 24 | +2·8 | —1 | | |

[591] Jetzt blieb noch zu versuchen, ob nicht bei Ableitung des Stromes von beiden Enden regelmässiger Muskeln doppelsinnige Schwankung erscheinen würde, da alsdann, wie am Gastroknemius und Triceps, zwei entgegengesetzte Ströme im Kreise sind. Wahrscheinlich war dies nicht. Denn beim Tetanisiren regelmässiger, von beiden Enden abgeleiteter Muskeln haben wir keine doppelsinnigen Wirkungen erhalten (s. oben S. 426. 439), und die Gleichartigkeit des oberen und unteren Querschnittes an diesen Muskeln berechtigt in keiner Weise zur Erwartung eines verschiedenen zeitlichen Verlaufes der von ihnen ausgehenden Schwankungen. Dennoch ist es mir mehrmals gelungen, am Gracilis ähnliche Erscheinungen wahrzunehmen, wie am Gastroknemius, nur dass die Ausschläge kleiner waren. Selbst bei gleichem Unterschiede im zeitlichen Verlaufe der beiden Schwankungen würde sich dies aus der vergleichsweise geringeren Kraft des Gracilis überhaupt erklären.[1]

Durch diese Versuchsreihe ist vollends erwiesen, dass es keine positive Schwankung im MEISSNER'schen Sinne giebt. Wo bei Zuckung oder Tetanus positive Schwankung erscheint, rührt sie stets von einer durch passende Methoden zu lösenden [592] Verwickelung her, und lässt sie sich als negative Schwankung eines versteckt gegenwärtigen, negativen Stromes entlarven.

Trotz dem Lichte, welches diese Einsicht über ein lange verdunkeltes Gebiet verbreitet, dürfen wir uns nicht verhehlen, dass hier Manches unklar bleibt. Wir wissen oft nicht, warum an bestimmten Muskeln die positive oder die negative Schwankung die Oberhand hat, da doch in der Ruhe der entsprechende Strom gerade der schwächere ist. Derselben

---

[1] Beispiele. Gracilis. Die aufsteigende Stromrichtung ist als positiv genommen.

| *Sch* | I. | II. |
|---|---|---|
| | Oberer natürlicher Strom: −93 cgr.<br>Unterer „ „ +90 „ | Oberer natürlicher Strom: −143 cgr.<br>Unterer „ „ +111 „ |
| | Von beiden Knochenstücken: − 8 cgr.<br>Am Rheotom: Null. | Von beiden Knochenstücken: − 41 cgr.<br>Am Rheotom: −1·5 sc. |
| 3 | 0 | 0 |
| 6 | − Spur | −0·5 |
| 9 | −1·5 | −1·7 |
| 10 | | −1·3 |
| 11 | −0·7 | 0 |
| 13 | +1·5 | +2 |
| 12 | + Spur | +2 |
| 14 | 0 | − Spur |
| 6 | | − Spur |

Schwierigkeit sind wir an Muskeln begegnet, an denen wir dem einen oder anderen Strom künstlich den Sieg verschafft hatten (s. oben S. 426). Hier kann man sich wenigstens mit der Auskunft helfen, dass die Schwankung vom künstlichen Querschnitt aus durch das Versuchsverfahren, Aufschlitzen, Anätzen u. d. m. geschwächt sei; auf die im natürlichen Zustande befindlichen Muskeln passt diese Erklärung nicht.

Ebensowenig haben wir eine Vorstellung davon, warum in der Regel die negative Schwankung der positiven voraufgeht, oder warum erst die Achilles- oder Patellaspiegelstromschwankung, dann die des oberen Stromes vorwiegt.

Ferner habe auch ich Beispiele von dem Verhalten gesehen, welches Hr. Meissner als das allgemeine schildert, dass die positive Wirkung von Einzelzuckungen bei unvollkommenem Tetanus wächst, während vollkommener Tetanus sogleich negative Wirkung herbeiführt. Man versteht nicht, warum die Resultante bei Einzelzuckungen oder unvollkommenem Tetanus anders gerichtet ist, als bei vollkommenem Tetanus, da doch beide aus Einzelzuckungen bestehen. Man sollte meinen, das Zeichen des Unterschiedes der Integralwerthe der Schwankungen von beiden Spiegeln aus könne nicht durch die Zahl der Einzelzuckungen in der Zeiteinheit bestimmt werden. Wie oben S. 456 bemerkt wurde, fällt am Rheotom die Nachwirkung sehr schwach aus, und noch schwächer wird sie bei unvollkommenem Tetanus sein. Die Vermuthung liegt nahe, dass der Sieg der negativen Schwankung bei vollkommenem Tetanus auf der mit solchem Tetanus verknüpften Nachwirkung beruhe. Ich zweifle nicht, dass hier der Schlüssel zum Räthsel liegt. Aber gefunden ist [593] er damit noch nicht, denn nun ist unverständlich, dass die Nachwirkung besonders den Achillesspiegelstrom ergreift, den Kniespiegelstrom dagegen verschont. Würden beide gleich davon betroffen, so wäre nämlich wieder kein Grund für Zeichenwechsel der Resultante.

Unerklärt bleibt der schon oben S. 447 bezeichnete Widerspruch zwischen dem Verlaufe der Schwankung bei Einzelzuckungen von Gastroknemien, wo sie durch Thon doppelsinnig gemacht wurde, und ihrem Verlaufe, wo sie von Natur so erschien. In den Versuchen am Rheotom zeigte sich nichts der Art, was doppelt unverständlich ist. Aber auch der zeitliche Verlauf der Schwankung bei vollkommenem Tetanus liess ähnliche Unterschiede erkennen, je nach der Art, wie sie doppelsinnig gemacht worden war. Nach dem Aufschlitzen war sie erst negativ, dann positiv, dann wieder negativ. Nach dem Ueberdehnen und dem Anätzen war sie erst positiv, dann negativ. Bei der Thonumhüllung dagegen, und am Triceps in den Fällen, wo sie von selber doppelsinnig erschien, war sie erst negativ, dann positiv (s. oben S. 430. 431 ff.).

Endlich ist auch schon oben S. 452 bemerkt worden, dass Hrn. HOLMGREN's zweite negative Schwankung, die bei Einzelzuckungen der positiven Schwankung folgen soll, am Rheotom vermisst wird. Sie erscheint um so räthselhafter, je geringer uns selber die Nachwirkung am Rheotom sich darbot (s. oben S. 456).

Inzwischen sind dies Einzelheiten, die den Ausgangspunkt für weitere Forschungen abgeben mögen, die aber unsere Ueberzeugung nicht erschüttern können, dass die hier entwickelte Theorie im Allgemeinen das Rechte trifft.

Auch Hr. MEISSNER ist übrigens die Erklärung einer ähnlichen Schwierigkeit schuldig geblieben, oder vielmehr, er gedenkt ihrer nicht einmal. Wo bleibt, so hat schon Hr. ROSENTHAL gefragt,[1] die positive Schwankung, die der angeblich wegen Zusammendrückung des Muskels erfolgenden negativen Schwankung bei sofortigem vollkommenem Tetanisi- [594] ren nach Hrn. MEISSNER's Lehre nothwendig voraufgehen müsste? Sie müsste sich als positiver Vorschlag zeigen. Davon ist aber keine Spur zu sehen.

Schliesslich ist hier noch ausdrücklich hervorzuheben, dass durch unsere Deutung der doppelsinnigen Schwankung am Gastroknemius die falsche Vorstellung vollends beseitigt wird, die man sich lange von der Schwankung des Muskelstromes bei Einzelzuckungen gemacht hat. Auf Grund der früheren Versuche am Gastroknemius war die Meinung entstanden, im Stadium der latenten Reizung breche die negative Schwankung mit grosser Schnelle herein, und verschwinde eben so schnell wieder, um positiver Schwankung zu weichen. Zwar wiesen schon Hrn. BERNSTEIN's Erfahrungen an regelmässigen Muskeln darauf hin, dass wohl am Gastroknemius eine besondere Verwickelung obwalte, doch fehlte ihm die zu deren Lösung nöthige Einsicht in die Art, wie der Gastroknemiusstrom zu Stande kommt.[2] Jetzt ist klar, dass das kurze Auftreten der negativen Schwankung nur ein Anschein ist, dadurch erzeugt, dass die positive Schwankung vom Kniespiegel aus ihr auf dem Fusse folgt, und sich von ihr abzieht. Dies wird durch den Verlauf der Schwankung nach Anätzen des Achillesspiegels bewiesen, wo die positive Schwankung zurücktritt, und der negative Curvenabschnitt mit allmählich abnehmender Grösse über die ganze Schwankungsperiode sich erstreckt (S. oben S. 456. 457).

---

[1] Fortschritte der Physik u. s. w. 1862. Berlin 1864. S. 829.

[2] Untersuchungen über den Erregungsvorgang u. s. w. S. 48. 50. 51.

## §. VIII. Ueber negative Schwankung am unbeweglich gemachten Muskel.

Es bleibt uns übrig, einige Angaben von Hrn. Meissner, die seine Theorie stützen und meine Lehre stürzen sollen, etwas genauer zu prüfen.

Seine Behauptung, dass die negative Schwankung auf Formveränderung des Muskels bei der Zusammenziehung beruhe, gründete Hr. Meissner erwähntermaassen (s. oben S. 441) auf zwei Beobachtungen.

[595] Die eine bestand darin, dass, wenn der Muskel so zusammengedrückt werde, wie er selber bei der Verkürzung sich zusammendrücke, der Strom abnehme. Daraus schloss Hr. Meissner, dass die von ihm für stetig angesehene negative Schwankung von der Zusammendrückung bei der Verkürzung herrühre. Ich habe schon früher gezeigt, dass Hr. Meissner, weit entfernt in seinen Versuchen den Muskel so zusammenzudrücken, wie dieser selber bei der Verkürzung sich zusammendrückt, was unmöglich ist, ihn nur knickte, und dass die angebliche Abnahme des Stromes durch Zusammendrückung darauf beruhte, dass der Achillesspiegel in Falten gelegt wurde.[1] Hr. Meissner hat also, anstatt, wie er glaubte, eine neue und ausreichende Erklärung der negativen Schwankung beizubringen, in diesem Punkte sich einfach getäuscht.

Die zweite Beobachtung des Hrn. Meissner, die er mit grösster Schärfe hinstellt, ist, „dass die Verhinderung der Contraction, der Form„veränderung des gereizten Muskels stets eine Verminderung der nega„tiven Stromesschwankung bedingt, welche Verminderung so bedeutend „werden kann, dass gar keine Abnahme der Ablenkung des Magneten „während des Tetanus stattfindet. Es kann sogar das Gegentheil statt„finden.“[2] „In einigen Fällen“ erhielt Hr. Meissner „auch starke „positive Schwankungen, viel bedeutender zuweilen, als sie von frei „hängenden Muskeln bei unvollkommenem Tetanus durch die Wippe be„obachtet wurden.“ Den Uebergang zu letzteren Fällen bildeten solche, in denen der Spiegel leicht hin- und herschwankte.[3]

Hr. Meissner wusste den Widerspruch nicht zu erklären, in den er mit meiner Angabe gerieth, wonach, wie er sagt, „der Erfolg, d. h. die „negative Stromesschwankung bei gedehntem Muskel genau der nämliche „war, als ob der Muskel sich wirklich hätte zusammenziehen können.“[4]

---

[1] S. oben S. 316—318.

[2] A. a. O. S. 42.

[3] A. a. O. S. 50. — Vergl. oben S. 441.

[4] A. a. O. S. 45.

Allein hier waltet ein Missverständniss ob, denn ich sagte wörtlich und [596] im Zusammenhange: „Man findet, dass der Erfolg genau der näm-„liche ist, als ob der Muskel sich wirklich hätte zusammenziehen können; „die Nadel geht durch den Nullpunkt in den negativen Quadranten über „ihre Stellung in dem positiven Quadranten hinaus, die Ladungen haben „augenblicklich die Oberhand. Ein gespannter Gastroknemius gab z. B. „40° Ausschlag, 6° beständige Ablenkung. Beim Tetanisiren schlug die „Nadel bis auf —40° durch und stellte sich endlich auf +5°; bei aber-„maligem Tetanus schlug sie auf —35° durch. Somit ist jede Mög-„lichkeit abgeschnitten, die scheinbare Stromabnahme beim Tetanus von „der Lageveränderung des Muskels auf den Bäuschen herzuleiten.“[1] Wie man leicht bemerkt, war meine Meinung nicht, dass der Erfolg des Tetanisirens der Grösse, sondern nur, dass er der Art nach genau der nämliche sei am gedehnten wie am freien Muskel. Hr. Meissner hat Recht, wenn er die Gründe entwickelt, aus denen, mit den damaligen Hülfsmitteln, am Multiplicator mit Platinelektroden, eine Bestimmung des Betrages der Schwankung sehr unsicher geblieben wäre. Um so weniger durfte er mir die Absicht beilegen, solche Bestimmung auszuführen. Ueber diese Bedenken brauchte ich wahrlich nicht erst von ihm Unterricht zu erhalten. Ganz aus der Luft gegriffen ist seine Behauptung, ich hätte nicht, wie er, nach Belieben zwischen dem gedehnten und ungedehnten Zustande schnell abwechseln können. Ich weiss wirklich nicht, wodurch ich Hrn. Meissner das Recht gab, mich solcher Unbeholfenheit zu zeihen. Die ‘grosse Streckvorrichtung’, deren ich mich bei diesen Versuchen bediente,[2] liess jenen Wechsel mindestens ebenso leicht zu, wie seine, viele Jahre später im Wesentlichen ganz gleich gebaute, im Unwesentlichen schwerlich verbesserte Anordnung. Auf alle Fälle konnte Hr. Meissner mir wohl zutrauen, dass, wenn ich die Behauptung genauer Gleichheit der Schwankung im gedehnten und ungedehnten Zustand hätte aufstellen wollen, ich dies nicht gethan haben würde, ohne die [597] angewendete Versuchsweise eingehend zu schildern, und ohne, statt nur ‘den einen,’ beide zu vergleichende Zahlenwerthe mitzutheilen.

Was Hrn. Meissner's eigene Behauptung betrifft, dass an dem zur Unbeweglichkeit gedehnten Muskel die negative Schwankung ganz vermisst werde, so ist umgekehrt sie durchaus falsch, und es ist schwer zu verstehen, wie Hr. Meissner in solchen Irrthum verfallen konnte.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 73.

[2] Untersuchungen a. a. O. S. 131.

Schon Hr. Holmgren[1] und Hr. Sigmund Mayer[2] haben gegen Hrn. Meissner bemerkt, dass sie in dem elektromotorischen Verhalten unbeweglich ausgespannter und tetanisirter Gastroknemien keine Abweichung von dem gewöhnlichen Verhalten haben entdecken können. Ganz richtig ist dies nicht. Hr. Meissner hat Recht darin, dass die negative Schwankung am gedehnten Muskel kleiner ausfällt, als am freien, obschon dies aus seinen eigenen Versuchen nicht eindeutig folgt. Immer zeigt die Angabe der beiden Forscher, wie wenig Grund für Hrn. Meissner's Behauptung da ist, dass die Schwankung am unbeweglich gemachten Muskel vollständig verschwinde.

Wir selber haben im Vorhergehenden stets an gespannten Muskeln experimentirt. Wenn sie auch nicht mit äusserster Gewalt bis zur Unbeweglichkeit gedehnt waren, so waren sie es doch bis zu dem Grade, doch nur verschwindende Verschiebung der von den Thonspitzen berührten Punkte übrig blieb. Ich brauche nicht noch ausdrücklich zu bemerken, dass unter diesen Umständen die negative Schwankung unbehindert erschien. Sie verschwindet aber auch nicht bei der stärksten Spannung, welcher Gastroknemien ohne Zerreissung sich aussetzen lassen, nur wird sie in der Regel allerdings kleiner.

Beobachtet man abwechselnd im ungedehnten[3] und gedehnten Zustand den Ausschlag durch die negative Schwankung [598] bei compensirtem Strome des ruhenden Muskels, so findet man die Schwankung im gedehnten Zustande meist schwächer. In einzelnen seltenen und räthselhaften Fällen kam auch das Gegentheil vor, die Schwankung im gedehnten Zustand erschien stärker. Hr. Meissner hat aus der verkleinerten galvanometrischen Wirkung der negativen Stromschwankung am gedehnten Muskel ohne Weiteres auf Verkleinerung der Kraftschwankung geschlossen. Da er ohne Compensation arbeitete, hatte er aber nicht einmal die Abnahme der Kraft in der Ruhe sichergestellt,[4] geschweige die der negativen Kraftschwankung. Nichts liegt näher als der Verdacht, dass die unter diesen Umständen beobachtete Abnahme des Stromes des ruhenden Muskels und seiner Schwankung einfach auf Gestaltveränderung durch das Dehnen beruhe.

Diese Vermuthung lässt sich mit Hülfe des Helmholtz'schen Satzes von der gleichen gegenseitigen Wirkung zweier elektromotorischen Flächen-

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1871. S. 242.

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 656.

[3] Wohlbemerkt ist unter ungedehntem Zustand hier stets ein Zustand solcher mässigen Dehnung verstanden, dass die Falten im Achillesspiegel schon verstrichen sind.

[4] S. oben S. 301. 305.

elemente[1] schärfer begründen. Eine beliebige dipolare Molekel der Grenzschicht des Achillesspiegels (um in der Sprache meiner Hypothese zu reden) ersetzen wir durch ein auf den Spiegel senkrechtes Flächenelement von gleicher Ausdehnung und Wirkung. Die Kraft dieses Elementes verlegen wir in einen, der Einfachheit halber gleich gross gedachten Querschnitt des linearen Bussolkreises. Diese Kraft heisse $k$, der Widerstand des Kreises mit Ausschluss des dehnbaren Muskels selber sei $W$. Der Einfachheit halber denken wir uns zunächst den Muskel cylindrisch, von der Länge $l$, dem Querschnitte $q$, und der specifischen Leitungsgüte $s$. Die Stromdichte $D$ im Muskel, welcher die das Flächenelement durchströmende Elektricitätsmenge proportional ist, wird sein

$$D = \frac{k}{Wq + \frac{l}{s}}.$$

[599] Wird der Muskel zur Länge $nl$ gedehnt, so wird sein Querschnitt $\frac{q}{n}$, und die neue Dichte

$$D_1 = \frac{k}{\frac{Wq}{n} + \frac{nl}{s}}.$$

Den Grössen $D$ und $D_1$ nahe proportional sind die Elektricitätsmengen, die im freien und gedehnten Zustand das Flächenelement, und, da dieselbe Betrachtung auf alle Molekeln beider Spiegel passt, die Elektricitätsmengen, die in beiden Zuständen der Muskel durch den Bussolkreis sendet. Diesen Elektricitätsmengen muss bei gleicher Grösse der negativen Kraftschwankung wieder die negative Stromschwankung proportional sein.

Ob $D <$ oder $> D_1$, d. h. ob die negative Schwankung im Bussolkreise durch Dehnen des Muskels wächst oder abnimmt, hängt für $n > 1$ davon ab, ob

$$W > \text{ oder } < n \cdot \frac{l}{qs}.$$

$\frac{l}{qs}$ ist der Widerstand des Muskels. $n$ kann man auf 1·25 bis höchstens 1·33 veranschlagen. Bei guter Ableitung vom Muskel ist unstreitig $W < n \cdot \frac{l}{qs}$, und es müssen also Strom und negative Schwankung durch das Dehnen abnehmen.

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 353; — S. oben S. 370.

Allerdings ist zu erwägen, dass Dehnen die Nebenschliessung verschlechtert, die der Muskel für den von den Spiegeln ausgehenden Strom in Bezug auf den Bussolkreis bildet, und dass nach einem früher von mir entwickelten Satze[1] der Achillesspiegelstrom dadurch mehr verstärkt wird, als der Kniespiegelstrom. Dehnen schwächt also, bei kleinem *W*, die Ströme von beiden Spiegeln aus, den vom Achillesspiegel aus aber weniger als den vom Kniespiegel aus. Es sind Umstände denkbar, unter welchen hierdurch die Abnahme des Stromes und seiner Schwankung durch das Dehnen überwogen werden könnte; doch dürfen wir über diese Verwickelung fortsehen.

[600] Der Einfluss, den das Dehnen durch Widerstandsvermehrung auf die Stromstärke des ruhenden Muskels übt, lässt sich durch Compensation beseitigen, wie ich schon vor langer Zeit that.[1] Bekanntlich bleibt meist dennoch eine Stromabnahme übrig, welche also auf Abnahme der Kraft durch das Dehnen zu deuten ist. Die negative Schwankung lässt sich bei natürlichem Querschnitte zwar besser compensiren, als bei künstlichem (s. oben S. 412), doch weisen die Formeln auf ein Mittel hin, um noch anders und leichter zu entscheiden, ob die Verminderung der Schwankung durch das Dehnen bloss von vermehrtem Widerstand, oder auch von Verminderung der Kraftschwankung herrühre. Es braucht nur *W* hinlänglich vergrössert zu werden, so muss bei gleichbleibender Kraftschwankung die negative Stromschwankung durch Dehnen zu-, statt abnehmen. Um so mehr muss dies der Fall sein, als nun die vergleichsweise Verstärkung des Achillesspiegelstromes mit der sonstigen Wirkung der Gestaltveränderung sich verbindet, um die vom Muskel nach aussen gelangenden Wirkungen zu verstärken. Wenn also, trotz der Vergrösserung von *W*, die negative Schwankung vom gedehnten Muskel aus fortfährt, kleiner als vom freien aus zu erscheinen, so ist dies nur so zu erklären, dass beim Dehnen auch die Kraftschwankung sinkt.

Vielleicht sind so Hrn. Meissner's Ergebnisse durch die von ihm gewählte Art der Ableitung mittels feuchter Fäden ohne sein Wissen und Wollen richtiger geworden, als sie sonst hätten sein können.[2]

Das Verfahren, um einen grossen Widerstand in den Muskelkreis einzuführen, wurde schon oben S. 413 beschrieben. Ich habe eine ziemliche Anzahl von Versuchen am Gastroknemius so angestellt, dass ich abwechselnd ohne und mit Widerstandsrohr im Kreise die negative Schwankung abwechselnd im ungedehnten und im gedehnten Zustande

---

[1] S. oben S. 383. 384.
[2] S. oben S. 306.

bestimmte. Bei den Versuchen mit Widerstandsrohr musste die Empfind-[601] lichkeit der Bussole erhöht werden, daher die Zahlen aus den Versuchen mit und ohne Rohr nicht vergleichbar sind. Um den Einfluss der Zeit und des öfteren Tetanisirens beurtheilen zu können, wurden die Versuche in regelmässigen Zeiträumen, nämlich alle zwei Minuten, angestellt. Untenstehende Tabelle giebt ein Bild dieser Versuche.[1]

Es stellte sich heraus, dass auch mit dem Widerstandsrohr im Kreise die negative Schwankung am gedehnten Muskel stets kleiner ausfällt, als am ungedehnten.

Schon dies reichte aus, um zu zeigen, dass es sich dabei nicht bloss um Abnahme der Schwankung der Stromstärke durch vermehrten Widerstand, sondern um Abnahme der Kraftschwankung han- [602] delt. Durch das Dehnen wird in den obigen Formeln $k$ zu $k-\delta$, und man hat sich zu denken, dass deshalb, trotz

$$W > n \cdot \frac{l}{qs},\quad D_1 = \frac{k-\delta}{Wq + n \cdot \frac{l}{s}} < D.$$

Es kann nun aber noch gefragt werden, ob auch im Verhältniss

---

[1] Die Zahlen $A$ sind Ablenkungen durch den Strom des ruhenden Muskels, die Zahlen $S$ negative Schwankungen, d. h. durch Tetanus bewirkte rückgängige Bewegungen des Scalenbildes.

Gastroknemius

| | | I. | | | II. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $A$ | $S$ | $\frac{A}{S}$ | $A$ | $S$ | $\frac{A}{S}$ |
| Min. | Muskel | | | Ohne Widerstandsrohr. | | | |
| 0 | frei | 122 sc | 75 sc | 1·63 | 277 sc | 209 sc | 1·32 |
| 2 | gedehnt | 85 | 39 | 2·18 | 119 | 97 | 1·22 |
| 4 | frei | 102 | 56 | 1·81 | 113 | 94 | 1·20 |
| 6 | gedehnt | 54 | 21 | 2·57 | | | |
| | | | | Mit Widerstandsrohr. | | | |
| 0 | frei | 5·7 | 3·0 | 1·90 | 8·0 | 4·8 | 1·67 |
| 2 | gedehnt | 3·4 | 1·2 | 2·83 | 4·0 | 2·8 | 1·43 |
| 4 | frei | 4·0 | 1·4 | 2·86 | 5·6 | 5·8 | 0·97 |
| 6 | gedehnt | 3·2 | 1·2 | 2·67 | 4·2 | 1·5 | 2·80 |
| 8 | frei | 4·2 | 1·7 | 2·47 | | | |
| 10 | gedehnt | 2·1 | 1·6 | 1·31 | | | |
| | | | | Ohne Widerstandsrohr. | | | |
| 0 | frei | 64 | 19 | 3·37 | 97 | 88 | 1·10 |
| 2 | gedehnt | 22 | 3 | 7·33 | 58 | 51 | 1·14 |
| 4 | frei | 64 | | 10·67 | 83 | 62 | 1·34 |
| 6 | gedehnt | 29 | 1·5 | 19·33 | 39 | 34 | 1·15 |

zur ursprünglichen elektromotorischen Kraft die negative Schwankung durch Dehnung verkleinert werde. Um dies zu untersuchen, müssen die Reihen der Quotienten aus den negativen Schwankungen in die ursprünglichen Stromstärken aufgestellt werden, wie es in umstehenden Tabellen geschehen ist. Diese Reihen haben kein sicheres Gesetz erkennen lassen. Oft zwar, namentlich zu Anfang der Versuche, zeigte sich die negative Schwankung nicht bloss absolut, sondern auch relativ durch die Dehnung verkleinert. Andere Mal war der Unterschied verschwindend oder es trat das Entgegengesetzte ein, so dass ich den Eindruck erhielt, als bekämpften sich dabei zwei Wirkungen.

Erinnert man sich der ermüdenden und auf die Dauer dem Muskel verderblichen Wirkung des Dehnens,[1] so liegt die Vorstellung nahe, dass die negative Schwankung am gedehnten Muskel deshalb relativ kleiner ausfalle, weil vielleicht schon die Abnahme des Stromes in der Ruhe als stetige negative Schwankung aufzufassen sei. Ein stark gedehnter Muskel ist vielleicht in fibrillärem Tetanus begriffen, welcher der Spannung wegen nicht sichtbar wird, und wegen der Ungleichzeitigkeit der Stösse in den einzelnen Bündeln, ja in deren verschiedenen Strecken, nicht durch secundären Tetanus sich verräth. Auf der anderen Seite könnte man, mit Hinblick auf Hrn. Heidenhain's Erfahrungen,[2] sich denken, dass durch Dehnung der Muskel zu grösserer Arbeitsleistung veranlasst werde, mit welcher, wie die Wärmeentwickelung, auch die negative Schwankung wachse. Doch ist zu bemerken, dass Dehnung zur Unbeweglichkeit einer grösseren Belastung entspricht, als dass noch da-
[603] bei Erhöhung der Arbeitsleistung, Wärmeentwickelung und negativen Schwankung angenommen werden könnte. Auch stimmt es nicht mit dieser Vermuthung, dass, wie mir hat scheinen wollen, gerade am ermüdeten gedehnten Muskel die negative Schwankung oft relativ grösser sich zeigte, als am ermüdeten ungedehnten.

Um dies, und noch mancherlei, was hier dunkel bleibt, in's Klare zu ziehen, hätte es noch einer langen und mühsamen Versuchsreihe bedurft, zu der die Zeit mir fehlte. Wie dem auch sei, die negative Schwankung, absolut genommen, nimmt also in der Regel bei der Dehnung ab, und zwar in Folge einer Abnahme der Kraftschwankung. Völlig unrichtig aber ist, wie ich kaum zu wiederholen brauche, Hrn. Meissner's Behauptung, dass die negative Schwankung bei der Dehnung verschwinde. Geschieht dies je, so erfolgt auch nach dem Abspannen

---

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 70.

[2] Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit u. s. w. Leipzig 1864. S. 89 ff.

keine negative Schwankung mehr, d. h. der Muskel versagt die Zusammenziehung.

Dagegen ereignet es sich zuweilen, dass an einem stark gedehnten Muskel die Schwankung beim Tetanus unsicher in ihrer Richtung wird, und bei noch stärkerer Dehnung in die positive Richtung umschlägt. Dies ist der schon oben S. 430 ausführlich erörterte, und als Ueberdehnung bezeichnete Fall, wo durch Dehnung der Kniespiegel subcutan in künstlichen mechanischen Querschnitt verwandelt ist. Natürlich bleibt hier die Schwankung auch am abgespannten Muskel positiv. Ich kann nicht umhin, meine Ueberzeugung auszusprechen, dass solcher Art die Fälle waren, in denen Hr. Meissner glaubte, dass die Dehnung die Schwankung umgekehrt habe, so dass „starke positive Schwankungen“ erschienen, „viel bedeutender zuweilen, als sie von frei hängenden Mus- „keln bei unvollkommenem Tetanus durch die Wippe beobachtet wurden“ (S. oben S. 441).

Um noch anders als durch Dehnung mich davon zu überzeugen, dass Unbeweglichkeit des Muskels die negative Schwankung nicht verhindere, versuchte ich den Muskel in einer Papierröhre oder Patrone mit Gyps zu umgiessen. Nach Erhärtung des Gypses entblösste ich Haupt- und Achillessehne, und legte ihnen ableitende Thonspitzen an. Allein der [604] Versuch scheiterte an dem mir nicht ganz unerwarteten Umstand, dass die Nebenschliessung durch den Gyps die elektromotorische Wirkung des Muskels bis zur Unmerklichkeit schwächte (s. oben S. 378. 379).

Ich versuchte daher, den Muskel, statt mit Gyps, mit einem rasch erstarrenden Nichtleiter zu umgiessen. Ich schmelzte Kolophoniumkitt,[1] so dass er eben leichtflüssig war; die Temperatur betrug 71° C. In den Kitt tauchte ich möglichst kurze Zeit das Nervmuskelpräparat, am Nerven gehalten, bis zur Eintrittsstelle des Nerven ein, wo ich etwas Bindegewebe zum Schutze des Nerven gelassen hatte. In Berührung mit dem Muskel erstarrte der Kitt augenblicklich, und nachdem er auch aussen hinreichend abgekühlt war, konnte ich das Eintauchen ohne weitere Gefahr für die Leistungsfähigkeit wiederholen. So fuhr ich fort, bis der Muskel, nach Art einer candirten Mandel, mit einer hinreichend dicken, völlig starren Schicht von Kitt umgeben war, die nur noch im Allgemeinen seine Gestalt nachahmte, und aus welcher der Nerv heraushing. Die Achillessehne wurde vorsichtig entblösst, und es wurden ihr und dem Bindegewebe in der Kniekehle ableitende Thonspitzen angelegt. Nun hatte ich die Genugthuung, da zugleich die Parelektronomie des Achillesspiegels durch die Hitze des Kittes zum Theil aufgehoben war,

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 643. Anm.

von dem ganz unbeweglichen Muskel in der Ruhe eine angemessen starke Wirkung (530; 476 $^{cgr}$) und im Tetanus — 57; — 50 $^{sc}$ Ablenkung zu erhalten.[1]

[605] Hrn. Meissner's zweite Beobachtung, durch welche er meine Lehre von der negativen Schwankung des Muskelstromes im Tetanus gestürzt zu haben glaubte, ist somit als eben so falsch nachgewiesen, wie die erste.

## §. IX. Ueber die secundäre Zuckung vom frei beweglichen und vom gedehnten Muskel aus.

Während nach Hrn. Meissner die galvanometrisch beobachtete negative Schwankung an dem bis zur Unbeweglichkeit gedehnten Muskel verschwinden sollte, sollte dagegen in vielen Fällen die secundäre Zuckung durch Dehnung an Stärke zunehmen (vergl. oben S. 442). Auch hierin fand sich Hr. Meissner im Widerspruche mit mir, da ich gesagt hatte, dass die secundäre Zuckung vom gedehnten Muskel aus schwächer als vom freien Muskel aus erfolge.[2]

Die Angabe, dass Ausspannen des primär zuckenden Muskels bis zur Unbeweglichkeit die secundäre Zuckung verstärke, war übrigens zur Zeit, wo Hr. Meissner sie veröffentlichte, nicht mehr neu. Sie findet sich schon früher bei Hrn. Brown-Séquard, der aber hinzufügt, dass

---

[1] Schon E. Harless hat, zu einem anderen Zwecke, den Muskel auf ähnliche Art unbeweglich zu machen versucht, wie es oben beschrieben wurde. (Ueber die Leistung, Ermüdung und Erholung der Muskeln. Münchener Sitzungsberichte, 1861. I. S. 67.) Auch er musste auf den Gebrauch von Gyps verzichten, weil die Nebenleitung durch den Gyps den Strom, den er zur Reizung durch den Muskel sandte, zu sehr schwächte. Er ersetzte den Gyps durch bei 25° C. schmelzende Cacaobutter. Es gelang aber Harless nicht, den Muskel ganz unbeweglich zu machen; stets blieb eine Verkürzung um etwa 0·4 $^{mm}$ zurück.

Da Harless keine Luftblasen neben dem Muskel entdeckte, und die Cacaobutter hinlänglich starr war, schloss er, trotz den bekannten Erfahrungen Gruithuisen's, Paul Erman's, Ed. Weber's und Marchand's, und Hrn. Kühne's (Myologische Untersuchungen. Leipzig 1860. S. 224), dass der Muskel bei der Zusammenziehung sich stark genug verdichte, um jenen Erfolg zu erklären. Ein ungleich näher liegender Erklärungsgrund ist aber Harless entgangen, dass er nämlich vor dem Umgiessen den Muskel auf seiner ganzen Oberfläche sorgfältig mit Olivenöl bestrich. Er wollte dadurch bewirken, dass die Cacaobutter dem Muskel sich vollkommen anschmiege. Er übersah merkwürdigerweise, dass er dadurch dem Muskel Raum zur Bewegung schuf. Bei hinreichender Dicke der Oelschicht hätte sich ja der Muskel ganz frei bewegt, wäre auch die Cacaobutter Gussstahl gewesen.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 119. 120. 133.

bei ganz abgespanntem Muskel, nach Durchschneidung der Sehne, die secundäre Zuckung ausbleibe.[1] Für letztere Behauptung beruft er sich auf Matteucci, und sie findet sich wirklich bei diesem [606] Schriftsteller.[2] Matteucci hat über die secundäre Zuckung viel Sinnloses gedruckt, diesmal jedoch sich übertroffen.

Um zu beurtheilen, mit welcher Leichtigkeit unter verschiedenen Umständen secundäre Zuckung eintritt, hat Hr. Meissner den von Hrn. Rosenthal in die Technik der Reizversuche eingeführten Kunstgriff[3] benutzt, d. h. er hat zum Maasse jener Leichtigkeit die Entfernung zwischen Haupt- und Nebenrolle des Schlitteninductoriums gemacht, bei welcher der primäre durch die Schläge der Nebenrolle erzeugte Tetanus eben anfängt, secundären Tetanus zu erzeugen. Die günstigere Anordnung ist natürlich die, wo bei grösserem Abstand der Nebenrolle von der Hauptrolle secundäre Zuckung erscheint.[4] Den secundären Nerven, um kürzehalber so mich auszudrücken, legte Hr. Meissner stets dem primären Muskel an. Diese Anordnung hatte auch Hr. Brown-Séquard bei seinen Versuchen getroffen.

Begierig, den Grund des Unterschiedes zwischen Hrn. Meissner's und meinen Wahrnehmungen aufzufinden, habe ich mich zunächst genau an seine Versuchsweise gehalten. Ich konnte sie noch leicht sehr vervollkommnen durch Anwendung zweier ihm noch nicht zugänglichen Hülfsmittel, nämlich erstens der Helmholtz'schen Anordnung am Schlitteninductorium, zweitens der Zuleitungsröhren mit unpolarisirbaren Thonspitzen, durch welche die Schläge des Inductoriums dem primären Nerven zugeleitet wurden. Zum Dehnen des primären Gastroknemius diente die oben S. 430 erwähnte, mit Zahn und Trieb versehene Vorrichtung.

Unter diesen Umständen begegnete es auch mir in der That ziemlich oft beim Nähern der Nebenrolle secundäre [607] Zuckung früher vom gedehnten, als vom ungedehnten Muskel aus zu erhalten. Der Unterschied der Rollenabstände war indess nur klein. Selten erreichte

---

[1] Course of Lectures on the Physiology and Pathology of the Central Nervous System. Philadelphia 1860. p. 6. 7.

[2] „Non esiste alcun altro tessuto organico che irritato in un modo qualunque svegli la contrazione indotta: il muscolo stesso, se preso sopra rane uccise col curaro o coi tendini tagliati in modo che irritando il nervo non insorga la contrazione, non dà luogo alla contrazione indotta.“ Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni ec. Torino 1861. p. 133. — [Die secundäre Zuckung vom Nerven aus kannte Matteucci natürlich nicht.]

[3] Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1857. Bd. III. S. 185 ff.

[4] A. a. O. S. 43. 44.

er 1 cm bei etwa 15 cm Rollenabstand; in vielen Fällen war gar keiner vorhanden.

Immerhin liegt hier eine neue und merkwürdige Thatsache vor. Was sie aber noch merkwürdiger macht, und Hrn. Meissner ganz entging, ist, dass Verstärkung der secundären Zuckung durch Dehnen nur eintritt, wenn der secundäre Nerv dem primären Muskel anliegt. Bekanntlich kann man der secundären Zuckung noch eine andere, in gewisser Hinsicht rationellere Gestalt geben, die ich zuerst ihr ertheilte.[1] Dazu öffnet man den Kreis des wie gewöhnlich abgeleiteten Muskelstromes irgendwo, und überbrückt die Lücke mit dem secundären Nerven, indem man sich bemüht, den Widerstand, abgesehen vom Nerven, so wenig wie möglich zu vergrössern. Am besten und einfachsten wird dies erreicht, indem man das Thonschild des einen Zuleitungsgefässes in etwa 1 cm Entfernung von dem Elfenbeinschlitze der Streckvorrichtung aufstellt, in welchem die Achillessehne so eingequetscht ist, dass der ausserhalb befindliche Sesamknorpel sie am Durchgleiten verhindert.[2] Dann brückt man den secundären Nerven über die Lücke zwischen Sesamknorpel und Thonschild, während die Zuleitungsgefässe metallisch, wenn man will, durch die Bussole, zum Kreise geschlossen werden.

Bei diesem Verfahren wird erstens grössere Nähe der Nebenrolle nöthig, um secundäre Zuckung zu erhalten. Zweitens habe ich dabei nie Verstärkung der secundären Zuckung durch Dehnen gesehen, sondern im Gegentheil oft Schwächung. In günstigen Fällen konnte ich mit demselben Paare von Nervmuskelpräparaten abwechselnd beobachten: bei dem eine Lücke im Kreise überbrückenden Nerven, Schwächung der secundären Zuckung durch Dehnen; bei, dem primären Gastroknemius anliegendem Nerven, Verstärkung der secundären Zuckung durch Dehnen.

[608] Schwächung der secundären Zuckung durch Dehnen erfolgt auch, wenn man den secundären Nerven, anstatt ihn dem primären Gastroknemius anzulegen, von zwei verschieden hohen Punkten des Achillesspiegels im Bogen herabhängen lässt.

Hrn. Meissner's Angaben über die secundäre Zuckung sind also unvollständig, und insofern auch gewiss unrichtig, als er die zwischen galvanometrisch gemessener negativer Schwankung und secundärem Tetanus im Allgemeinen herrschende Proportionalität leugnet.

Verfolgt man die negative Schwankung im Bussolkreise, in welchem ein Nerv sich befindet, galvanometrisch, so sieht man sie selbstverständlich durch die Dehnung ebenso bis zu einem gewissen Grad abnehmen,

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 88.
[2] S. oben S. 305.

als wäre der Nerv nicht vorhanden. Niemand wird daran zweifeln, dass, wenn man die negative Schwankung innerhalb des dem primären Muskel anliegenden secundären Nerven galvanometrisch verfolgen könnte, sie gleich dem secundären Tetanus durch das Dehnen wachsen würde. Von Hrn. Meissner's Theorie, wonach secundäre Zuckung und negative Schwankung nichts sollten miteinander gemein haben, vielmehr jene durch eine galvanometrisch als positive Schwankung sich kundgebende Entladung, diese durch Formveränderung des Muskels bedingt sein sollte, kann nach allem Vorigen die Rede nicht mehr sein. Es verdient aber nochmals bemerkt zu werden (vergl. oben S. 442), dass aus dieser Theorie durchaus kein Grund sich ergiebt, warum die secundäre Zuckung durch Dehnen verstärkt werden sollte.

Hr. Meissner lässt diese augenfällige Schwierigkeit, welche für seine Theorie eintritt, unerwähnt. Er begnügt sich damit, die Gründe anzugeben, aus denen der Unterschied zwischen der secundären Zuckung bei gedehntem und der bei freiem Muskel nicht von Lageänderung des Nerven auf dem Muskel habe herrühren können. „Sorgfältig wurde be-„obachtet,“ sagt er, „dass der Nerv des stromprüfenden Präparats dem „primären Muskel in gleicher Ausdehnung anlag während des gedehnten „und nicht gedehnten Zustandes“.[1] Ich halte dies beiläufig für [609] unmöglich; dennoch glaube auch ich nicht, dass Lageänderung des Nerven Ursache jenes Unterschiedes sei. Ebensowenig beruht er auf einem anderen Umstand, an den zu seiner Erklärung wohl zu denken wäre, und der Hrn. Meissner auch entgangen war, ich meine das Glätten der Falten im Achillesspiegel, in Folge dessen das Dehnen anfänglich oft mit Stromverstärkung einhergeht.[2] Die Verstärkung des secundären Tetanus findet auch statt beim Dehnen von dem Punkt an, wo schon alle Falten im Achillesspiegel verstrichen sind.[3] Auch wäre unverständlich, warum dann nicht der secundäre Tetanus von dem eine Lücke überbrückenden Nerven aus, wie auch die galvanometrisch gemessene negative Schwankung, gleichfalls durch Dehnen verstärkt würden.

Die Verstärkung des secundären Tetanus vom aufliegenden Nerven aus kann auch nicht davon herrühren, das Dehnen die Neigung der Bündelaxen gegen den Achillesspiegel vergrössert. Zwar könnte dadurch

[1] A. a. O. S. 43.

[2] S. oben S. 306.

[3] Es kommt zwar, wie ich selber sah, an regelmässigen Muskeln, und nach Hrn. Meissner auch am Gastroknemius vor, dass eine nicht auf Glättung von Sehnenspiegeln beruhende positive Wirkung das Dehnen begleitet, doch ist diese zu selten und gering, um hier berücksichtigt zu werden. Vergl. oben S. 313. 314.

die dem Spiegel parallele Componente der Strömung wachsen, welche (nach meiner Hypothese) von den dipolaren Molekeln der Grenzschicht ausgeht, und in Folge davon die negative Schwankung zunehmen. Allein auch dieser Einfluss müsste in gleicher Weise die secundäre Zuckung vom aufliegenden Nerven aus, die von dem eine Lücke überbrückenden Nerven aus, und die galvanometrisch gemessene negative Schwankung treffen.

Dasselbe gilt schliesslich, wenigstens für die auf beiderlei Art abgeleiteten secundären Zuckungen, von der Hypothese, dass durch das Dehnen der zeitliche Verlauf der Schwankung ein anderer werde.

Es ist vielmehr klar, die hier zu lösende Aufgabe besteht darin, begreiflich zu machen, wie trotz der unzweifelhaft zwischen Haupt- und Achillessehne beim Dehnen stattfindenden [610] Abnahme des Spannungsunterschiedes in der Ruhe und seiner negativen Schwankung im Tetanus, dennoch das Dehnen Verstärkung der secundären Zuckung vom aufliegenden Nerven aus erzeuge. Um dies darzulegen, verfahren wir folgendermaassen.

Der dem Achillesspiegel anliegende Nerv heisse $N_A$, der eine Lücke überbrückende $N_L$. Die secundäre Zuckung von $N_A$ und $N_L$ aus setzen wir proportional der Stärke des Stromes des ruhenden nicht parelektronomischen Muskels in $N_A$ und $N_L$. Dadurch ist unsere Aufgabe im Wesentlichen zurückgeführt auf die, anzugeben, mit welcher verhältnissmässigen Stärke $N_A$ und $N_L$ im freien und gedehnten Zustande des Muskels vom Muskelstrome durchflossen sind.

Für $N_L$ haben wir diese Aufgabe schon annäherungsweise gelöst. Die oben S. 466 ff. angestellte Betrachtung passt hier ohne Weiteres, da es keinen Unterschied macht, ob wir unter $W$ uns nur den Widerstand des Bussolkreises denken, oder den des Bussolkreises mit darin befindlichem secundären Nerven. Nur dass im letzteren Falle $W$ sofort als $> n \cdot \frac{l}{qs}$ anzunehmen ist, daher die unter diesen Umständen sich kundgebende Abnahme der secundären Zuckung der Abnahme der Kraftschwankung zuzuschreiben ist, welche die Verstärkung überwiegt, die sonst Folge der Gestaltveränderung sein würde.

Um nun zu erklären, warum gleichzeitig die secundäre Zuckung von $N_A$ aus zuweilen wachse, gehen wir, natürlich an der Hand des Helmholtz'schen Satzes, zunächst wieder aus von einer dipolaren Molekel der Grenzschicht des Achillesspiegels. Diese Molekel aber, wie auch den Querschnitt von $N_A$, in welchen die Kraft des an Stelle der Molekel gedachten Flächenelementes verlegt werden soll, wählen wir diesmal, wenigstens anfangs, nicht beliebig, sondern so, dass das Flächenelement

und der Nervenquerschnitt einander möglichst nahe, jenes unter diesem, in einer auf den Achillesspiegel orthogonalen Fläche sich befinden, welche, bei Durchströmung des Muskels seiner Länge nach, eine isoëlektrische Fläche sein wird.

[611] Dabei ist sogleich klar, dass der wirksam gedachte Querschnitt des Nerven $N_A$ durch das ihm nah gelegene Flächenelement eine ungleich grössere Elektricitätsmenge sende, als ein beliebiger ebenso stark wirksam gedachter Querschnitt von $N_L$, und dass dies, wenn auch nicht in gleichem Maasse, für alle dipolaren Molekeln des Achillesspiegels gelte. Sogar für die Kniespiegelmolekeln findet dasselbe statt. Dies erklärt zunächst, weshalb von $N_A$ aus secundäre Zuckung bei grösserem Rollenabstand erfolgt, als von $N_L$ aus. Noch kommt in Betracht, dass, wenn ein Theil der Schwankung des Kniespiegels von der negativen Schwankung des Achillesspiegels sich abzieht, der Unterschied ein kleinerer sein werde für den Nerven $N_L$, als für den $N_A$, der also auch so begünstigt erscheint.

Was den Unterschied der secundären Zuckung von $N_A$ aus bei freiem und bei gedehntem Muskel betrifft, so sehen wir vorläufig ab von der Abnahme der Kraftschwankung. Aus der allgemeinen Formel für die Stromdichte

$$D = \frac{K}{Wq + \frac{l}{s}}$$

folgt, dass bei Abnahme des Querschnittes der Strombahn, ohne gleichzeitige Verlängerung letzterer, die Stromdichte nur dann nicht zunimmt, wenn keine Strecke von unverändert bleibendem Querschnitt da ist, d. h. wenn $W = 0$ ist. Hier wird die Strecke $W$ vorgestellt durch ein Stück des Nerven $N_A$ selber. Es wächst also durch das Dehnen die Dichte in dem Querschnitt überhaupt; und das Flächenelement, für welches die Muskelmasse eine schwächende Nebenschliessung abgiebt, wird vom wirksam gedachten Querschnitt des Nerven $N_A$ mehr Elektricität erhalten, als vor der Dehnung. Dasselbe gilt, wenn auch nicht in gleichem Maasse, für alle Molekeln des Achilles- und Kniespiegels. Die Stromdichte muss aber hier schneller mit der Dehnung wachsen, als bei dem eine Lücke überbrückenden Nerven, weil die Vermehrung der Dichte durch Verkleinerung des Querschnittes nicht wieder zum Theil aufgehoben wird durch Verlängerung der Strombahn. Und darum endlich vermag bei dieser Anordnung die Vermehrung der [612] Dichte die Verminderung der elektromotorischen Kraft häufig, wenn gleich nicht immer, zu überwiegen.

Die Sache läuft also, wie verwickelt sie auch beim ersten Blick sich darstelle, auf folgendes einfache Verhalten hinaus. In beiden Fällen, dem des aufliegenden und dem des eine Lücke überbrückenden Nerven, ist die negative Kraftschwankung am gedehnten Muskel verkleinert. In beiden Fällen ist ihre Wirkung auf den Nerven dagegen durch Formveränderung des Muskels verstärkt; in beiden Fällen bekämpfen sich diese beiden Einflüsse des Dehnens. Die Wirkung ist aber mehr verstärkt im Falle des anliegenden Nerven, und deshalb kann in diesem Falle zuweilen stärkere Zuckung vom gedehnten Muskel aus erfolgen; während im Falle des eine Lücke überbrückenden Nerven die Verminderung der Kraftschwankung stets den Sieg davonträgt über die Formveränderung.

Die für den eine Lücke überbrückenden Nerven gegebene Erklärung gilt auch für den, zwischen zwei ungleich hohen Punkten des Achillesspiegels im Bogen herabhängenden Nerven.

Man sieht also, dass Hrn. Meissner's Aufstellungen, sofern ihnen Richtiges zu Grunde liegt, anstatt meine Lehre zu stürzen, ihr nur Gelegenheit geben, abermals ihre Leistungsfähigkeit zu bewähren. Er selber konnte die Verstärkung der secundären Zuckung durch das Dehnen so wenig erklären, dass er die ihm daraus erwachsende Schwierigkeit mit Stillschweigen überging. Unsere Theorie vermochte die neue Thatsache sogleich als einleuchtende Folgerung aus längst niedergelegten Grundsätzen aufzufassen.

## §. X. Weitere Bemerkungen über die secundäre Zuckung vom Muskel aus.

Nachdem erkannt war, dass die galvanometrisch gemessene negative Schwankung durch Umwandlung des natürlichen Querschnittes in künstlichen Querschnitt zunimmt, lag es nahe zu versuchen, ob auch die secundäre Zuckung auf diesem Wege sich verstärken lasse. Die Leichtigkeit, mit der secundäre Zuckung erfolgte, wurde auf dieselbe Weise, wie in den vori- [613] gen Versuchen, bestimmt. Um den Achillesspiegel zum Zwecke des Anätzens frei zu haben, wählte ich die Anordnung, bei der der secundäre Nerv eine Lücke im Muskelstromkreis überbrückt. Wenn bei Näherung der Nebenrolle an die Hauptrolle die ersten Zuckungen erschienen, bestrich ich den Achillesspiegel mit stark entwickelnden Flüssigkeiten, Kreosot, verdünnter Milch- oder Chlorwasserstoffsäure. Ich erhielt aber kein überzeugendes Ergebniss. Selbst wenn Verstärkung eingetreten wäre, hätte übrigens nur schwer entschieden

werden können, ob sie nicht von unmittelbarer Muskelreizung durch die ätzenden Flüssigkeiten herrühre.

Uebrigens fragt sich, ob nicht durch das Anätzen eine die secundäre Zuckung vom Gastroknemius aus sonst begünstigende Eigenthümlichkeit seiner Schwankungscurve beseitigt wird. Es scheint als müsse die doppelsinnige Schwankung an einem mässig parelektronomischen Gastroknemius, als bestehend aus einem steil aufsteigenden und wieder absinkenden negativen Abschnitt, der alsbald in einen positiven Abschnitt überspringt, besonders geeignet sein, den secundären Nerven zu erregen. Nach Anätzung des Achillesspiegels steigt zwar der negative Abschnitt höher an, allein die Curve verweilt länger auf dem Maximum und sinkt nur langsam herab. Auf demselben Umstande mag es zum Theil beruhen, dass von regelmässigen Muskeln aus secundäre Zuckung merklich schwerer erfolgt, als vom Gastroknemius oder Triceps aus.

Ich ergreife diese Gelegenheit, um auf eine die secundäre Zuckung betreffende Angabe in meinen 'Untersuchungen' zurückzukommen. Ich habe dort gesagt: „Man findet, dass die secundäre Zuckung erfolgt, „welches auch die Richtung des Stromes in dem aufliegenden Nerven „sei, und man versteht bei einiger Ueberlegung bald, dass dem nicht „anders sein könne. Man hat es nämlich, bei der Stromesschwankung „durch die Zusammenziehung, gewissermaassen mit einer doppelsinnigen „Wirkung zu thun, da der Strom sich bei jedem tetanischen Stosse alsbald wieder eben so schnell auf seine frühere Höhe erhebt, als er dieselbe eingebüsst hatte.“ [1]

[614] Hierin hatte ich mich geirrt. Matteucci gab seitdem an, dass bei gewissen Anordnungen eine bestimmte Lagerung des Nerven in Bezug auf Centrum und Peripherie sich günstiger erweise als die umgekehrte. An die negative Schwankung, als Ursache der secundären Zuckung, glaubte Matteucci, der jene Schwankung kaum kannte, bekanntlich nicht. Die Ursache der secundären Zuckung suchte er in späterer Zeit (vergl. oben S. 417. 442. Anm. 2) in einer vom zuckenden Muskel ausgehenden Entladung, wie nach ihm Hr. Meissner; ja da er, unbekannt mit der Parelektronomie, die Möglichkeit secundärer Zuckung unter Lagebedingungen annahm, wo gar kein Muskelstrom den secundären Nerven durchfloss (vergl. oben a. a. O.), so befleissigte er sich auch nicht, die Richtung des Stromes der ruhenden Muskeln oder Gliedmaassen im secundären Nerven festzustellen, vielmehr schloss er, nach den unvollkommenen Begriffen, die er vom Gesetze der Zuckungen hatte, umgekehrt aus leichterem Stattfinden der Zuckung bei bestimmter Lage des Nerven

---

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. I. S. 99.

auf absteigende Richtung der hypothetischen Entladung im Nerven. Soweit übrigens seine rohen Anordnungen und wenig klaren Beschreibungen ein Urtheil darüber zulassen, war es die aufsteigende Richtung des Muskelstromes, die in seinen Versuchen sich wirksamer erwies, denn er sagt wiederholt, dass secundäre Zuckung am besten erfolge, wenn der secundäre Nerv dem primär zuckenden Unter- oder Oberschenkel von unten nach oben zu angelegt sei.[1] Wir werden aber gleich sehen, dass diese Lagerungsweise die Stärke der secundären Zuckung noch anders be-
[615] einflussen kann, als durch die dadurch bestimmte Richtung des Muskelstromes im secundären Nerven.

Ich habe seitdem zu verschiedenen Zeiten über diesen Gegenstand experimentirt, sowohl am Gastroknemius als an querdurchschnittenen regelmässigen Muskeln als primär zuckenden Muskeln. Bald rief ich durch Anfangsströme des Schlitteninductoriums, die ich mit dem Fallhammer erzeugte, Einzelzuckungen hervor, bald tetanisirte ich, wie in den vorigen Versuchen, den primären Nerven, und näherte die Nebenrolle der Hauptrolle bis zum Erscheinen von Zuckungen. Der secundäre Nerv lag bald dem primären Muskel in ganzer Länge an, bald berührte er ihn nur an zwei Punkten, indem ein Glimmerblättchen, in welches zwei Löcher gestanzt waren, mit Ausnahme dieser Stellen ihn vom Muskel schied; bald endlich überbrückte er eine Lücke in dem vom Muskelstrome durchflossenen Kreise.

Das Ergebniss war, dass man zwar oft keinen Unterschied im Auftreten der secundären Zuckung bei beiden Stromrichtungen sieht, wie mir dies begegnet war, als ich den Ausspruch in meinen 'Untersuchungen' that, dass aber auch ziemlich oft ein solcher Unterschied bemerkbar wird, jedoch in keinem bestimmten Sinne. Bald ist die absteigende, bald die aufsteigende Richtung günstiger. Liegt der Nerv dem Muskel an, so kann es natürlich geschehen, dass, abgesehen von der Stromrichtung, die eine Lagerungsweise günstiger als die andere ist. Im Allgemeinen wird es z. B. vortheilhafter sein, wenn das obere, mehr erregbare Ende des Nerven dem unteren Ende des Gastroknemius, der Achillessehne nahe, anliegt, wo die Muskelmasse, worauf wir jetzt zu achten

---

[1] „Continuando nell' esperienza, o avendo fin dal principio operato con rane galvanoscopiche non tanto vivaci, le contrazioni non si manifestono più che in quelle rane galvanoscopiche, che hanno il loro nervo disteso dall' estremità inferiore all' estremità superiore della gamba o della coscia.“ Lezioni di Elettro-Fisiologia ec. Torino 1856. p. 78. — Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni ec. Torino 1861. p. 135. — Vergl. Philosophical Transactions etc. 1850. p. 648. 649; — 1857. p. 140. 141, und, wie sich bei MATTEUCCI von selber versteht, an vielen anderen zum Theil aus Anmerkung 1. oben S. 418 ersichtlichen Stellen.

gelernt haben, für den Achillesspiegelstrom geringere Nebenschliessung bildet. Dies kann der Grund gewesen sein, weshalb in MATTEUCCI's Versuchen die Lagerung des Nerven „von unten nach oben" auf dem primär zuckenden Unterschenkel sich günstiger erwies. Wie dem auch sei, solche Umstände mischen sich hier ein, und machen es sehr schwer, ohne zeitraubende und mühevolle Untersuchungen zu etwas anderem zu gelangen, als zu der allgemeinen Einsicht, dass ein Unterschied der Richtung, [616] in welcher der secundäre Nerv durchströmt wird, oft einen Unterschied der secundären Zuckung bedingt.

## §. XI. Die Gründe wider Hrn. MEISSNER's Theorie der elektromotorischen Vorgänge bei der Muskelzuckung werden zusammengefasst.

Für den Leser, welcher der Zerbröckelung der MEISSNER'schen Aufstellungen im Vorigen und in einer früheren Abhandlung von mir[1] gefolgt ist, kann es einer ausdrücklichen Widerlegung seiner Lehre kaum mehr bedürfen. Doch ist es vielleicht nicht unnütz, die Gründe gegen diese Lehre hier übersichtlich zusammenzufassen.

1. Hrn. MEISSNER's positive Schwankung bei Einzelzuckungen wird nicht beobachtet, wo man es einfach zu thun hat mit dem Muskelstrome vom Längs- zum Querschnitt, sondern unter gewissen Umständen da, wo zwei entgegengesetzte Muskelströme zugleich im Kreise sind. Sie ist nämlich alsdann die aus irgend einem Grund überwiegende negative Schwankung des in der Ruhe schwächeren und daher gleichsam versteckt gegenwärtigen Stromes, mit einem Worte, sie ist stets eine verkappte negative Schwankung. Am Gastroknemius insbesondere ist sie die negative Schwankung des vom Kniespiegel ausgehenden Stromzweiges. Sie tritt daher zurück, wenn bei sinkender Parelektronomie des Achillesspiegels die negative Schwankung von diesem Spiegel aus die Oberhand erhält. Umgekehrt giebt es eine Reihe von Verfahrungsarten, durch die man der positiven Schwankung auch beim gewöhnlichen, schnellen Tetanisiren die Oberhand verschaffen kann: es sind dies solche, in Folge deren die negative Schwankung vom Kniespiegel aus stärker hervortreten muss. Es ist somit kein Grund dafür da, der positiven Schwankung des Gastroknemiusstromes bei Einzelzuckungen die ihr von Hrn. MEISSNER zugeschriebene Bedeutung beizulegen; sie rührt nicht von einer Entladung

[1] S. oben S. 298.

im Muskel her, welche mit der im Organ der Zitterfische zu vergleichen wäre.

[617] 2. Wie ich in der oben angeführten Abhandlung, S. 317. 318, entwickelte, lässt die Formveränderung des Muskels bei der Zusammenziehung sich durch äussere Kräfte nicht nachahmen, und als Hr. Meissner nachzuweisen glaubte, dass solche Formveränderung die negative Schwankung erkläre, wobei er den Muskel knickte, statt ihn zusammenzudrücken, wurde er durch die elektromotorische Wirkung der Runzelung und Glättung des Achillesspiegels getäuscht.

3. Die negative Schwankung ist nicht, wie Hr. Meissner behauptet, geknüpft an die Formveränderung des Muskels bei der Zusammenziehung. Vielmehr findet sie auch an dem bis zur Unbeweglichkeit gedehnten oder sonst immobilisirten Muskel statt. Es ist falsch, dass unter diesen Umständen die negative Schwankung verschwinde, oder gar positiver Schwankung Platz mache. Der Anschein hiervon tritt nur ein, wenn Gastroknemien überdehnt, d. h. so stark gedehnt werden, dass der Kniespiegel gleichsam subcutan in künstlichen mechanischen Querschnitt verwandelt ist, was Hrn. Meissner vermuthlich getäuscht hat.

4. Zeitmessende Versuche beweisen, dass die Stromschwankungen bei der Zusammenziehung, insbesondere die negative Schwankung am Gastroknemius, im Wesentlichen dem Stadium der latenten Reizung angehören, wodurch Hrn. Meissner's Erklärung der negativen Schwankung durch Formveränderung des Muskels schon allein widerlegt ist.

5. Hrn. Meissner's Behauptung, dass secundäre Zuckung und galvanometrische negative Schwankung von der Dehnung des Muskels verschieden abhängen, indem dadurch erstere zu-, letztere abnehme, beruht auf mangelhafter Beobachtung. Nur die secundäre Zuckung von dem, einem Gastroknemius angelegten Nerven aus wächst zuweilen durch Dehnung; die von dem eine Lücke im Bussolkreis überbrückenden Nerven aus nimmt beim Dehnen stets zugleich mit der galvanometrisch gemessenen negativen Schwankung ab.

Hrn. Meissner's Lehre von einer elektrischen Entladung im Muskel, welche der sichtbaren Zusammenziehung voraufgehend positive Schwankung und secundäre Zuckung er- [618] zeuge, während die negative Schwankung mit der secundären Zuckung nichts zu schaffen habe, nicht discontinuirlich sei und auf Formveränderung des Muskels beruhe — diese Lehre war also in allen Punkten falsch. Es bleibt im Gegensatz dazu bei meiner ursprünglichen Lehre: die negative Schwankung ist Ursache der secundären Zuckung, sie ist discontinuirlich, sie rührt nicht von Formveränderung des Muskels her.

Dem paradoxen Satze des Hrn. Meissner, dass am Herzmuskel die

elektrische Veränderung bei der Systole im entgegengesetzten Sinne stattfinde, wie am Gastroknemius bei der Zusammenziehung (s. oben S. 442), ist nun gleichfalls der Boden entzogen.[1]

---

[1] Die vom Kaninchenherzen aus erfolgenden Zuckungen des Nervmuskelpräparates sind kürzlich von Hrn. DONDERS mit Rücksicht auf die Präexistenz-Frage untersucht worden. (Rustende Spierstrom en secundaire contractie, uitgaande van het Hart. Onderzoekingen, gedaan in het physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Derde Reeks I. Utrecht 1872. Bl. 256.). — [Vergl. unten S. 504 ff.]

---

XXVI.

# Ueber die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung.

---

## Zweite Abtheilung.[1]

### Von der relativen Grösse der negativen Schwankung bei Einzelzuckungen, oder von der Frage, ob bei der Zuckung der Muskelstrom sich umkehre oder nicht. Verschiedene Erscheinungsweisen der Einzelschwankung.

### §. XII. Einleitung. Die Sachlage in den 'Untersuchungen'.

Von Hrn. Meissner's Theorie der elektromotorischen Vorgänge bei der Zusammenziehung kann nach den Ausführungen in der ersten Abtheilung die Rede nicht mehr sein. Dagegen verdient die von Hrn. Krause bei Gelegenheit dieser Theorie zuerst ausgesprochene und seitdem der Aufmerksamkeit der Physiologen nachdrücklich empfohlene Vermuthung noch immer alle Beachtung, nach welcher die Nerven durch einen von der Nervenendplatte, als einer elektrischen Platte, ausgehenden Schlag die contractile Substanz zur Zusammenziehung reizen sollen. Ich werde diese Hypothese, die ich kurz die 'Entladungshypothese' nenne, zum Gegenstand einer besonderen Abhandlung[2] [611] machen. Hier fahre ich fort, die negative Schwankung mit den neuen uns zu Gebote stehenden Hülfsmitteln zu untersuchen.

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1875. S. 610.

[2] Diese Abhandlung ist seitdem unter dem Titel: „Experimentalkritik der Entladungshypothese über die Wirkung von Nerv auf Muskel“ in den Monatsberichten der Berliner Akademie erschienen. S. dort, 1874. S. 519—560; — [unten, Abh. XXXI.]

In der ersten Abtheilung bestimmten wir den relativen Betrag der negativen Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung unter verschiedenen Umständen. Die Kraftabnahme, welche der vom thermischen Querschnitt abgeleitete Strom im Tetanus höchstens erfährt, fanden wir = 40 pCt. (s. oben S. 413). Doch handelte es sich dort um Tetanus. Eine andere Frage ist die nach der Tiefe der einzelnen schnellen Senkungen der Kraft, aus denen die tetanische Schwankung sich zusammensetzt, und deren jede, im Gegensatz zur letzteren, Einzelschwankung heissen kann, da solche Schwankungen sichtlich die Einzelzuckungen (s. oben S. 403) begleiten. Der Stand, in welchem ich diese Frage in den 'Untersuchungen' liess, war folgender.[1]

Sobald der secundäre Tetanus verrathen hatte, dass die Stromabnahme im Tetanus keine stetige sei, blieb ungewiss, ob in der Einzelschwankung die elektromotorische Kraft des Muskels nur abnehme, ob sie Null werde, oder ob sie sich umkehre; ob, wenn sie letzteres thue, sie im negativen Sinne kleiner, ebenso gross, oder grösser ausfalle, als im positiven. Ja noch mehr, auch die Höhe, zu der zwischen zwei solchen Senkungen die Curve wieder ansteigt, wird zweifelhaft. Sie kann dieselbe, kleiner, oder grösser sein, als in der Ruhe. Die durch die mittlere Ordinate gemessene Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel wird in allen diesen Fällen dieselbe sein, sobald der Flächenraum derselbe ist, welchen die den zeitlichen Verlauf des Stromes darstellende Ktenoide (s. oben S. 417) mit der Abscissenaxe und den Ordinaten zu Anfang und Ende des betrachteten Zeitraumes einschliesst.

Diese Einsicht bestimmte mich bekanntlich vor langer Zeit, für die scheinbare Abnahme des Muskelstromes im Tetanus den alle jene Fälle umfassenden Namen der 'negativen Schwankung' zu wählen: eine Wahl, die sich als besonders glücklich erwies, [612] weil, wie sich später zeigte, bei Ableitung des Stromes vom natürlichen Querschnitt häufig Stromumkehr, zuweilen auch relativ positive Schwankung (s. oben S. 407) des schon in der Ruhe verkehrten Stromes den Tetanus begleitet, ohne dass jedoch daraus Stromumkehr im obigen Sinne folgte. Alle diese Erscheinungsweisen der Stromschwankung im Tetanus passten nun gleichmässig unter den Namen der 'negativen Schwankung'.

Schon in den 'Untersuchungen' habe ich verschiedentlich versucht, die Frage nach der Tiefe der Einzelschwankung zu entscheiden. Natürlich wird es eher gelingen, zu ermitteln, ob der Strom sich umkehre oder nicht, als jene Tiefe zu messen. Ich bemühte mich daher zunächst nur, tetanischen Muskeln negative Wirkungen zu entlocken. Der nicht

[1] Vergl. dort Bd. II. Abth. I. S. 91. 120 ff.; — Abth. II. S. 147 ff.

parelektronomische Muskel, den ich damals allein kannte, wirkt im Tetanus positiv, doch schwächer als in der Ruhe.[1] Ich versuchte aber auf doppelte Art, ob es nicht glücke, ihn negativ wirken zu sehen, wenn man es so einrichtete, dass der Kreis nur während der Einzelschwankungen geschlossen wäre.

Um dies zu erreichen, lag am nächsten, den Muskel selber erst durch seine Zuckung den Kreis für seinen Strom schliessen zu lassen, indem die Zuckung einen Hebel soweit dreht, dass dessen Spitze in Quecksilber eintaucht.[2] Eine nach diesem Plan ausgeführte Vorrichtung lieferte zwar stets positive Ausschläge, doch stammte deren grösster Theil sichtlich von dem nicht hinlänglich ausgeschlossenen Strome des ruhenden Muskels her. Um die Ausschliessung vollständiger zu machen, ersann ich eine andere Vorrichtung, welche wesentlich aus zweien, an derselben Axe befindlichen, in Einem Stücke drehbaren Unterbrechungsrädern bestand. Das eine Rad schloss und öffnete viermal bei jeder Umdrehung sehr kurze Zeit einen inducirenden Kreis, und sandte jedesmal einen reizenden Stromstoss durch den zum Muskel gehörigen Nerven. Das andere Rad schloss und öffnete ebenso oft sehr kurze Zeit den Muskelstromkreis. Die Räder konnten gegen einander verstellt werden, [613] so dass die Schliessungen des Muskelstromkreises kürzere oder längere Zeit nach denen des inducirenden Kreises erfolgten. So war die Möglichkeit gegeben, den Muskelstromkreis häufig sehr kurze Zeit in bestimmtem kleinen, willkürlich veränderlichen Zeitabstande von der augenblicklichen Reizung zu schliessen, und günstigenfalls den Augenblick der Stromumkehr zu erfassen.

Auch an dieser Vorrichtung erschienen aber die Ausschläge stets positiv, nur schwächer, wenn der Muskel zuckte, als wenn das Inductorium ausser Spiel blieb. Dies Ergebniss litt an der Unsicherheit jedes negativen Erfolges. Obwohl, wie die Folge lehren wird, im Princip untadelig, liess meine damalige Vorrichtung in der Ausführung viel zu wünschen übrig, und ich wagte nicht, auf die damit angestellten Versuche hin schon bestimmt auszusprechen, dass der Muskelstrom in der Einzelschwankung nur an Stärke abnehme, nicht sich umkehre.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 60; — oben S. 418.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 121—126.

## §. XIII. Vom Froschhammer, einer Vorrichtung, in welcher der Muskel nur immer bei der Zuckung seinem Strome den Weg zum Galvanometer bahnt.

Ich habe, seit jener Zeit, diesen Gegenstand nie ganz aus den Augen verloren, und halte nicht für unnütz, einige der Wandlungen festzuhalten, welche er durchgemacht hat.

Vor Allem ist hervorzuheben, dass die eben geschilderte Sachlage bald darauf durch Entdeckung zweier Thatsachen verändert wurde, durch die der Nachwirkung des Tetanus auf den Strom, und durch die der Parelektronomie.

Die Nachwirkung vereinfachte etwas die Lage, insofern sie lehrte, dass zwischen je zwei Einzelschwankungen die Stromstärke um so weniger hoch wieder ansteigt, je länger der Tetanus anhielt. Das war in dem sich verzweigenden Gewirre der Möglichkeiten wenigstens Ein Anhaltspunkt.[1]

Die Parelektronomie dagegen erhöhte die Schwierigkeit der Entscheidung. Fortan durften Versuche über Stromumkehr bei [614] Zuckung nur noch mit künstlichem Querschnitt angestellt werden, da eine wahrgenommene Stromumkehr sonst darauf geschoben werden kann, dass die negative Kraft der parelektronomischen Schicht oder Strecke bei der Zuckung unverändert bleibt, oder in geringerem Maass abnimmt, als die positive Kraft des Gesammtmuskels.[2]

Meine Bestrebungen waren zuerst auf Vervollkommnung des Verfahrens gerichtet, den Muskel selber jedesmal bei der Zuckung die Leitung für seinen Strom herstellen zu lassen.

Ich erkannte die Unmöglichkeit, dies durch Schliessen des Kreises zu thun. Wie klein auch die zu schliessende Lücke im Kreise sei, einen gewissen Weg muss der Muskel beschrieben haben, wenn sie geschlossen wird, und der Anfang der Zuckung geht darüber verloren. Dagegen kann jenes Ziel dadurch erreicht werden, dass im Augenblicke der Zuckung der Muskel einen Kreis unterbricht und so eine Nebenleitung hinwegräumt, die bis dahin den Muskelstrom vom Multiplicator abhielt. Dies geschieht, indem man den Muskel an einem Hebel arbeiten lässt, welcher durch ein Gewicht, oder durch eine Feder, den Muskel spannt, selber jedoch genau in der Lage unter-

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 151 ff. — Taf. V. Fig. 145.

[2] S. oben S. 417. 426; — unten Abth. III. §. XIX. XXIII.

stützt ist, in welcher der Muskel dem Gewicht oder der Feder das Gleichgewicht hält. Der Muskel ist dann im HELMHOLTZ'schen Sinne belastet. Die Unterstützung findet statt, indem ein am Hebel befindlicher Stift, der Stützstift, auf einer Platte, der Stützplatte, ruht. Ist durch Berührung von Stift und Platte eine Leitung geschlossen, so kann bei richtiger Einstellung der Muskel in der Idee nicht um die kleinste Grösse sich verkürzen, ohne dass die Leitung geöffnet wird. Diese Anordnung ist den Physiologen durch die von Hrn. HELMHOLTZ nach POUILLET's Methode angestellten Messungen der Geschwindigkeit des Nervenprincips, so wie durch meinen 'Froschunterbrecher', wohlbekannt.[1] Wenn nun die durch Stift und Platte ge- [615] schlossene Leitung eine Nebenschliessung bildet, die den Muskelstrom vom Galvanometer abhält, so begreift man, wie der Strom in das Galvanometer erst im Augenblick einbricht, wo der Muskel sich zu verkürzen anfängt.

Um diesen Gedanken praktisch zu machen, war noch mancherlei nöthig. Erstens musste nach einer gewissen kleinen und nach Belieben veränderlichen Zeit der Muskelstrom wieder vom Galvanometer abgeblendet werden. Zweitens musste, sobald die Zuckung abgelaufen war, der Vorgang von vorn anfangen, damit er möglichst oft in der Zeiteinheit wiederkehre. Endlich da wegen der Parelektronomie der Strom nicht von einem mit natürlichem Querschnitte versehenen Muskel abgeleitet werden durfte, und da ich damals keine Art kannte, einen mit künstlichem Querschnitte versehenen Muskel äussere Arbeit verrichten zu lassen, so mussten drittens das Geschäft des Arbeitens und das des Stromgebens zwei verschiedenen Muskeln übertragen werden.

Die Vorrichtung, mittels welcher ich diesen Forderungen entsprach, verdankt ihre Entstehung dem Studium des SIEMENS-HALSKE'schen Zeigertelegraphen,[2] zu welchem ich bei meinem Aufenthalt in Paris mit meinem Freunde SIEMENS im Frühling 1850 Gelegenheit hatte. Diesem Telegraphen sind die wesentlichen Organe der Vorrichtung entlehnt, welche die Hrn. SIEMENS und HALSKE die Güte hatten, nach meiner Angabe bauen zu lassen, und welche in Fig. 37 schematisch abgebildet ist. Da der SIEMENS-HALSKE'sche Zeigertelegraph auf demselben Principe beruht, wie der WAGNER'sche Hammer, und da dies Princip, welches schon in GALVANI's Froschschenkel-Tanz[3] erkennbar ist, auch der

---

[1] S. oben Bd. I. S. 215. — Taf. III. Fig. 12.

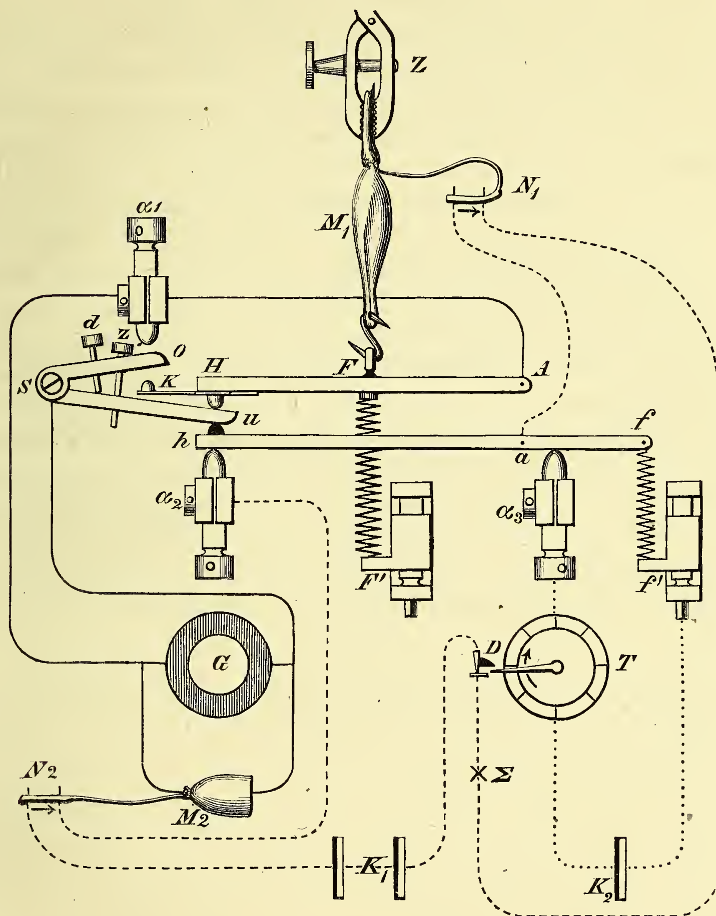
[2] S. dessen Beschreibung in den Annales de Chimie et de Physique. 1850. 3me Série. T. XXIX. p. 385, und in SCHELLEN, Der elektromagnetische Telegraph u. s. w. 3. Aufl. Braunschweig 1861. S. 174 ff.

[3] S. oben Bd. I. S. 223. Anm. 1.

jetzt zu beschreibenden Vorrichtung zu Grunde liegt, so nenne ich letztere den Froschhammer.

Zum Verständniss der Figur sei Folgendes vorweg bemerkt. [616] Mit Ausnahme der schwarz gehaltenen Stellen bei *F*, *h* und *D* leitet die

Fig. 37.




Vorrichtung metallisch, ihre Theile sind aber auf der sie tragenden Platine von einander isolirt. Sämmtliche Contacte bestehen aus Platin. Die Vorrichtung liegt wagerecht, so dass die Schwere der Hebel nicht mitspielt. Beim Beschreiben der Vorrichtung empfiehlt es sich jedoch, daran Oben und Unten zu unterscheiden, wie es in der Figur sich zeigt.

[617] $M_1$ ist der arbeitende, $M_2$ der stromgebende Muskel. $M_1$

arbeitet mittels eines isolirenden Zwischenstückes bei $F$ an dem um $A$ drehbaren einarmigen Haupthebel $AFHk$ der Hauptfeder $FF'$ entgegen, welche nach unten zieht und den als Stützstift fungirenden Platinknopf $H$ gegen den unteren Schenkel $su$ des um $s$ drehbaren Schiebers[1] $osu$ drückt. Indem $su$ gegen den Carneolanschlag $h$ trifft, den wir später noch genauer betrachten werden, dient $su$ dem Stützstift $H$ zur Stützplatte. Zwischen $H$ und $su$ ist in dieser Lage der Vorrichtung die Nebenleitung $suHFA\alpha_1$ geschlossen, welche den Strom des Muskels $M_2$ verhindert, auf das Galvanometer $G$ zu wirken. Der Feder $FF'$ ertheilt ein mikrometrisch stellbarer Federhalter die geeignete Spannung. Auch Muskel $M_1$ wird durch eine ebenso stellbare Zange $Z$ gehoben und gesenkt. Percutirt man, während man $Z$ senkt, den Haupthebel bei $H$ bis zum Verschwinden des bei unvollkommener Berührung vernehmbaren Klirrens,[2] so erreicht man, dass er gerade in der Stellung unterstützt ist, wo die Spannungen des Muskels und der Feder einander gleich sind. Bei kleinster Zunahme der Muskelspannung wird dann $H$ von $u$ abge- [618] hoben und die Nebenleitung unterbrochen: um so sicherer, als $H$ wegen $AH = 2AF$ den doppelten Weg von dem zurücklegt, welchen $F$ beschreibt.[3]

Im Verlauf weiterer Hebung des Hebels durch den Muskel trifft ein an jenem befestigter nach oben gekehrter Knopf $k$ den oberen Schenkel des Schiebers $so$, und schliesst also wieder die Nebenleitung, welche nun heisst: $sokHFA\alpha_1$. Die Zeit, während welcher sie offen war, hängt ab von dem Winkel, den die nach Art der Schenkel eines Zirkels mehr oder weniger sich öffnenden Schieberschenkel miteinander machen, und kann

---

[1] Der Schieber ist bekanntlich ein wesentliches Organ des Siemens-Halske-schen Zeigertelegraphen, an welchem er dieselbe Rolle spielt, wie die Hülfsfeder am Halske'schen Unterbrecher (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1856. Bd. XCVII. S. 641). Der Schieber des Froschhammers hat mit dem Schieber jenes Telegraphen jedoch nichts gemein, als den Mechanismus, durch welchen er in mittlerer Lage zwischen den beiden gleich zu erwähnenden Anschlägen sich in labilem Gleichgewichte befindet, so dass er stets entweder dem oberen oder dem unteren Anschlage sicher anliegt. Dieser Mechanismus ist in Schellen's Beschreibung des Siemens-Halske'schen Telegraphen übergangen, und es sind darüber, nächst dem Aufsatz in den Annales de Chimie etc. (L. c. p. 405), Beschreibung und Abbildung der Siemens'schen selbstthätigen Wippe (Poggendorff's Annalen u. s. w. 1857. Bd. CII. S. 70, Taf. I. Fig. 1—3; — Wiedemann's Lehrbuch u. s. w. 2. Aufl. Bd. I. Braunschweig 1872. S. 654. §. 451; — vergl. oben Bd. I. S. 48) nachzusehen, in welcher der Telegraphenschieber gleichfalls Anwendung gefunden hat.

[2] Helmholtz in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 517; — Vergl. oben Bd. I. S. 220.

[3] Vergl. oben Bd. I. S. 219.

mittels der Zugschraube $z$ und der Druckschraube $d$ innerhalb der zu wünschenden Grenzen verändert werden.

Im weiteren Ansteigen nimmt der Haupthebel den Schieber mit, bis dessen oberer Schenkel sich dem Anschlag $\alpha_1$ anlegt. Die Nebenleitung ist jetzt: $so\alpha_1$, mit einer Abzweigung $okHFA\alpha_1$.[1] Lässt schliesslich der Muskel nach und gewinnt die Hauptfeder die Oberhand, so fällt $k$ von $so$ ab, und letztere Abzweigung öffnet sich. Vermöge der in Anm. 1 auf voriger Seite erwähnten Einrichtung des Schiebers aber bleibt $so$ fest an $\alpha_1$. gelehnt, und dadurch die Nebenleitung $so\alpha_1$ geschlossen. Trifft im weiteren Rückgange des Haupthebels der Stützstift $H$ wieder auf $su$, wobei er den Schieber nach unten mitnimmt, so schliesst sich die ursprüngliche Nebenleitung wieder in demselben Augenblicke, wo die Nebenleitung zwischen $so$ und $\alpha_1$ geöffnet wird, und sie bleibt geschlossen, bis eine neue Zuckung beginnt.

An Hrn. Helmholtz' ursprünglicher Vorrichtung zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Nervenprincips, an meinem 'Froschunterbrecher', der als andere Gestalt jener Vorrichtung erscheint, kam es darauf an, dass nur Eine Zuckung stattfinde. Man erinnert sich des sinnreichen Kunstgriffes, durch den Hr. Helmholtz dies erreichte. Hier ist uns das entgegengesetzte Ziel gesteckt, Zuckung auf Zuckung möglichst dicht und lange [619] folgen zu lassen. Diese Aufgabe löst der Froschhammer folgendermaassen.

Der Carneolanschlag, gegen welchen der untere Schenkel des Schiebers trifft, ist selber noch kein fester Punkt, sondern am einen Ende des zweiarmigen Hülfshebels $haf$ befestigt. Dieser hat seinen Drehpunkt bei $a$. An seinem anderen Arme zieht ihn die Hülfsfeder $ff'$, die bei $f'$ ihren mikrometrisch stellbaren Halter hat, nach unten; sie zieht folglich sein Ende $h$ nach oben. Die Hauptfeder ist viel stärker als die Hülfsfeder. Im Zustand der Belastung ist die Spannung der Hauptfeder = der Summe der Spannungen des Muskels und der Hülfsfeder; die Hauptfeder drückt durch $su$ mittelbar $h$ gegen den leitenden Anschlag $\alpha_2$, und schliesst dadurch den Strom der zweigliederigen Daniell'schen Säule $K_1$,[2] der in absteigender Rich- [620] tung die Nerven $N_1$, $N_2$

---

[1] Um zu verhüten, dass der Muskel hier plötzlich auf unüberwindlichen Widerstand stosse, was bedenklich schien, wird der Knopf $k$ von einer federnden Verlängerung des Haupthebels getragen.

[2] Die doppelte Polarisation an den beiden Platin-Elektrodenpaaren bei $N_1$ und $N_2$ (es war vor der Zeit der unpolarisirbaren Elektroden) machte eine so grosse Kraft nöthig.

Ich wendete übrigens mit gleichem Erfolge noch eine andere Combination an, wobei nur einfache Polarisation stattfand und geringere Kraft genügte. Sie bestand

der Muskeln $M_1$, $M_2$ durchfliesst. Die Bahn dieses Stromes $K_1 N_2 \alpha_2 h a N_1 \Sigma D K_1$ ist gestrichelt. Sobald Muskel $M_1$ soweit erschlafft ist, dass zwischen $h$ und $\alpha_2$ Schluss erfolgt, wird eine neue Zuckung ausgelöst, und der beschriebene Hergang erneuert sich in annähernd gleicher Art, bis der Hub des Muskels $M_1$ zu klein wird, um $k$ mit *so* in Berührung zu bringen, wo dann die Nebenleitung nicht rechtzeitig wieder geschlossen wird.

Um dem abzuhelfen, und, wie man sehen wird, noch in anderer Absicht, war folgende Einrichtung getroffen. Der Hülfshebel schloss bei jedem Hube durch Begegnung mit dem Anschlag $\alpha_3$ den in der Figur punktirten Kreis $\alpha_3 ff' K_2 T \alpha_3$ einer Kette $K_2$, in welcher sich ein Modell des Wheatstone'schen Zeigertelegraphen $T$ befand. Die Kreise der Säule $K_1$ und der Kette $K_2$ waren bis auf die Verbindung durch das Stück des Hülfshebels $a\alpha_3$ von einander isolirt, und es ging also keine Elektricität aus dem einen in den anderen über.[1] Jede Schliessung der

darin, $a$ mit dem einen Ende der Kette in Verbindung zu setzen, und von $\alpha_2$ sowohl wie von dem anderen Ende der Kette einen Draht zur oberen, beziehungsweise unteren Elektrode den beiden gleich und gleichzeitig zu erregenden Nerven sich gabeln zu lassen. Bei dieser Anordnung werden die Nerven auch gleich erregt, vorausgesetzt, was aber strenge nicht zutrifft, dass ihr Widerstand und ihre Berührungsflächen mit den Elektroden gleich seien, und dass an letzteren gleiche Polarisation stattfinde.

Natürlich bietet sich auch der Gedanke dar, durch Berührung von $h$ und $\alpha_2$ den Hauptstrom eines Inductoriums zu schliessen und dessen Anfangsnebenstrom durch $N_1$, $N_2$ zu leiten. Dabei würde aber der im Augenblicke der Oeffnung unvermeidliche Endnebenstrom die einfache Zuckung in Doppelzuckung verwandeln und eine Verwickelung mehr erzeugen. Ebensowenig geht es an, durch jene Berührung eine Nebenschliessung zur Hauptrolle schliessen zu lassen. Denn es giebt keine Art, dem durch Schliessen einer Nebenleitung entstehenden Endnebenstrom physiologisch die Oberhand zu verschaffen über den durch Oeffnen derselben Leitung entstehenden Anfangsnebenstrom. Diese Ströme können in ihrer physiologischen Wirkung höchstens einander gleich werden. Naturgemäss entspricht jenem Endnebenstrom bessere Leitung für den Endextrastrom zwischen den Enden der Hauptrolle. Bei gleicher Anfangsordinate mit dem Anfangsextrastrom hat also der Endextrastrom grösseren Integralwerth, folglich längere Dauer. Der End- und der Anfangsnebenstrom haben, bei gleichem Integralwerth unter sich, gleiche Dauer mit den entsprechenden Extraströmen. Der durch Schliessen der Nebenleitung entstehende Endnebenstrom wird daher stets länger dauern, mithin seine Curve minder steil, seine physiologische Wirkung kleiner sein. Indem man den Unterschied der Leitungen zwischen den Enden der Hauptrolle zum Verschwinden bringt, kann man also höchstens die beiden Nebenströme in ihrem Verlauf einander gleich, nie die Curve des Endnebenstromes zur steileren, und dadurch ihn zum physiologisch wirksameren machen. Diese praktisch wichtige Betrachtung fehlt in meiner Untersuchung über den zeitlichen Verlauf der Inductionsströme (vergl. oben Bd. I. S. 228—256.)

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 40.

Kette, also jede Zuckung der Muskeln, begleitet der Telegraph mit einem Sprunge seines Zeigers. Bei einer gewissen Stellung des letzteren, z. B. beim Sprunge von *K* auf *L*, traf der Zeiger auf einen isolirenden Daumen am schwach federnden Draht *D*, der bis dahin durch Berührung mit einer Kupferplatte, auf der ein Quecksilbertropfen schwamm, den Kreis der rei- [621] zenden Säule $K_1$ geschlossen hielt. So öffnete der Zeiger diesen Kreis, und zwar dauernd, indem der abwärts zurückfedernde Draht bei der Platte vorbeifuhr. Wurde im Beginn der Zeiger auf *A* gestellt, so konnten nur den Buchstaben *B*, *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *H*, *I*, *K*, *L* entsprechend zehn Zuckungen stattfinden. Diese dauerten etwa 2″ (s. unten), während das Nadelpaar des bei diesen Versuchen noch angewandten Multiplicators für den Nervenstrom 25 Secunden zu einer Schwingung brauchte. Nicht nur war so dem Uebelstande vorgebeugt, dass bei fortgesetztem Gange des Hammers die Zuckungen den Haupthebel nicht mehr weit genug hoben, um die Nebenleitung wieder zu schliessen, sondern es konnten auch die durch je zehn Zuckungen erzeugten Ausschläge für ein ungefähres Maass der Wirkung gelten, die eine Einzelschwankung hervorbrachte.

Der Kreis der Säule $K_1$ stand ursprünglich offen. Sobald er durch einen Schlüssel etwa bei $\Sigma$ geschlossen wurde, setzte sich bei richtig eingebrachtem arbeitenden Muskel der Froschhammer in Gang, und bot dann das Schauspiel eines höchst vollkommenen GALVANI'schen Froschschenkel-Tanzes (s. oben S. 488) dar. Bei guter Leistungsfähigkeit des Muskels ging der Hammer anfangs so schnell und gleichmässig, dass man einen SIEMENS-HALSKE'schen Zeigertelegraphen zu hören meinte.

Hier war es möglich, für die noch nicht geprüfte **Arbeitsleistung** eines Froschgastroknemius[1] einen ungefähren unteren Grenzwerth zu erlangen, und ich nahm gelegentlich solche Bestimmung vor.

Ein nicht besonders kräftiger Muskel eines mittelgrossen Frosches machte 25 Hube in 4·5″, also beiläufig 10 Hube in 1·75″ (s. oben). Der Hub betrug mindestens $8^{\text{mm}}$. Dabei war die Spannung der Hauptfeder zu Anfang des Hubes $= 50^{\text{gr}}$, zu Ende $= 148^{\text{gr}}$. Wegen der Kleinheit des Hubes im Vergleich zur Länge der Feder kann man annehmen, dass [622] die Spannung mit dem Hube linear wuchs. Von der Hülfsfeder kann man um so eher absehen, als Anschlag $\alpha_3$ dem Hülfshebel nur einen verschwindenden Hub gestattet. Die 25 Hube entsprechen mithin einer Arbeit von etwa $0{\cdot}002^{\text{km}}$, zu deren Erzeugung

[1] Man vergleiche MATTEUCCI's sinnlose Versuche in meinen Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 275, wo sich die Literatur findet, zu der noch hinzuzufügen ist: Philosophical Transactions etc. 1847. S. 243.

0·00472 Grammencalorie aufgewandt oder 0·00058 $^{\text{mgr}}$ C verbrannt werden müssten. Ein guter Muskel lieferte aber, wenn ihm dazwischen Ruhe gegönnt wurde, leicht 6, auch wohl 10mal diese Arbeit. Allmählich ermüdete der Muskel und arbeitete langsamer und minder regelmässig, bis endlich Stillstand eintrat.

Liess ich sehr starke Inductionsschläge auf den Nerven $N_1$ einwirken, so arbeitete der Hammer von Anfang an langsamer.

## §. XIV. Versuche am Froschhammer über die negative Schwankung.

Ich habe diese Art von Versuchen nicht weiter ausgedehnt, was wohl der Mühe lohnen würde, sondern schritt nun, am Multiplicator für den Nervenstrom, zu den eigentlich beabsichtigten Versuchen über die elektromotorische Wirkung des zusammengezogenen Muskels. Der arbeitende und der stromgebende Muskel waren die beiden Gastroknemien desselben Frosches. Der letztere war etwa in der Mitte seiner Länge querdurchschnitten und mit Kopf und Querschnitt zwischen die mit Eiweisshäutchen bekleideten Bäusche der Zuleitungsgefässe eingeklemmt, so dass trotz der Zuckung die Berührung für stetig gelten konnte. Die Nerven wurden über die beiden Elektrodenpaare in möglichst gleicher Art gebrückt. Immer blieb zwischen den Muskeln der Unterschied, dass der eine unversehrt war und arbeitete, der andere querdurchschnitten war und sich frei zusammenzog, was auf die bei dem Versuchsplane vorausgesetzte Congruenz der beiderseitigen Zuckungen nur nachtheilig wirken konnte. Auch besass ich damals noch nicht die Mittel, um Ungleichartigkeit und Polarisation der Elektroden zu beseitigen, sondern ich behalf mich mit Elektroden aus unverquicktem Zink in gesättigter Zinksulphatlösung, deren Ungleichartigkeit mir viel Noth machte, und welche noch ansehnliche Ladung an- [623] nahmen.[1] Wirkte der zusammengezogene Muskel am Froschhammer negativ, so bewies dies also noch nicht, dass der Muskelstrom sich umkehre, denn die negative Wirkung konnte Polarisation sein. Wirkte er dagegen positiv, so war bewiesen, dass unter den Umständen des Versuches der Muskelstrom nicht einmal verschwand, denn sonst wäre wegen Polarisation negative Wirkung eingetreten. Aus geringerer Stärke der positiven Wirkung durfte auf Abnahme des Stromes während der Zusammenziehung geschlossen werden mit dem Grade von

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 46. 57.

Sicherheit, den die unvollständige Immobilisirung des stromgebenden Muskels zuliess.

Der Erfolg war, dass mit künstlichem Querschnitt nie eine Spur negativer Wirkung bemerkt wurde. Auch wenn die Nebenschliessung, welche den Strom vom Multiplicator abhielt, möglichst kurze Zeit offen blieb, erschien positiver Ausschlag. Dagegen erschien er häufig negativ, wenn der stromgebende Muskel unversehrt war, oder wenn ich den Strom vom arbeitenden Muskel selber ableitete, indem ich vom Femur dicht über dem Knie und von der Achillessehne einen mit Zinklösung getränkten Charpiequast in die Zuleitungsgefässe hängen liess. Natürlich bedeuten diese negativen Ausschläge für unsere Frage nur, dass solche Ausschläge auch mit querdurchschnittenem Muskel erfolgt wären, wenn unter den Umständen des Versuches der vom künstlichen Querschnitt abgeleitete Strom bei der Einzelschwankung sich umkehrte.

Es blieb nun aber noch übrig, mit künstlichem Querschnitt die negative Schwankung überhaupt am Froschhammer sichtbar zu machen. Dazu wurden Versuchsreihen angestellt, in denen der stromgebende Muskel abwechselnd zuckte und nicht zuckte, während sonst Alles unverändert blieb. Sollte der Muskel nicht zucken, so wurde Nerv $N_2$ von seinem Elektrodenpaar abgehoben, und über dieses zur Erhaltung der Leitung ein anderes ähnliches Stück Nerv gebrückt. Die folgenden Tabellen lehren das Ergebniss dieser Versuche. Die Zahlen sind Multiplicatorgrade.

[624] A. Versuche mit längerer Schliessungszeit.

10 Zuckungen.

**Z.** bedeutet Zuckung, **R.** Ruhe.

| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gastroknemienpaar | I | Z. | 8 | | 11·5 | | 16·5 | | 23 | | 38 | | 57 | | |
| | | R. | | 16 | | 20 | | 25 | | 64 | | 54 | | 78 | |
| | II | Z. | 10 | 10 | 11 | | | 13·8 | | 17·8 | | 25 | | 54 | |
| | | R. | | | | 13 | 14 | | 18 | | 24·5 | | 42 | | 70 |
| | III | Z. | | 25 | | 29·9 | | 34·2 | | 41·5 | | 52 | | 69·6 | |
| | | R. | 33 | | 33 | | 37 | | 45 | | 54 | | 70 | | 90 |

B. Versuche mit kürzester Schliessungszeit.

15 Zuckungen.

| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gastroknemienpaar | I | Zuckung | | 0·5 | | + Spur | | 0·5 |
| | | Ruhe | 1 | | 1 | | 1 | |
| | II | Zuckung | | 0·3 | | ? | | |
| | | Ruhe | 1 | | 1 | | 1 | |

Beide Versuchsreihen unterscheiden sich von einander dadurch, dass in ersterer die Schieberschenkel einen kleinen Winkel bildeten, daher, bis *k o* traf, der Muskel sich beträchtlich verkürzte, während in letzterer jener Winkel so gross war, dass *k o* traf, unmittelbar nachdem *H* von *u* sich gelöst hatte.

Die Versuche schienen also zu beweisen, dass die Einzelschwankung in einer während des Stadiums der steigenden Energie auftretenden Abnahme der Muskelstromkraft bestehe, welche verhältnissmässig um so grösser sei, je kürzere Zeit *t* vom Anfange der Zuckung an man den Strom auf die Nadel einwirken lasse. Denn in Reihe B, wo *t* möglichst klein gemacht wurde, betrug die elektromotorische Wirkung des zusammengezogenen Muskels weniger als die Hälfte von der des [625] ruhenden Muskels, dagegen in Reihe A, wo *t* grösser war, kommt nur einmal (Muskelpaar I, Versuch 1. und 2.) ein Verhältniss der Wirkung des zuckenden zu der des ruhenden Muskels wie 1 : 2 vor.[1]

## §. XV. Versuche am Froschhammer vermögen die Frage nach Umkehr des Muskelstromes bei der Zuckung nicht zu entscheiden.

So weit war ich, nach jahrelangen Bemühungen, in dieser Untersuchung gekommen, als Hr. Helmholtz mir brieflich den kurz darauf (1854) in den Berichten der Akademie veröffentlichten[2] Versuch am Myographion mittheilte, wonach der, secundäre Zuckung erregende Theil

[1] Natürlich war wegen der Intensitätencurve des Multiplicators das entsprechende Verhältniss im Allgemeinen nicht so nahe = 1, wie die Tabelle es zeigt.

[2] S. dort, S. 328; — vergl. oben S. 448.

der Schwankung der Zuckung voraufgeht und in das Stadium der latenten Reizung[1] fällt.

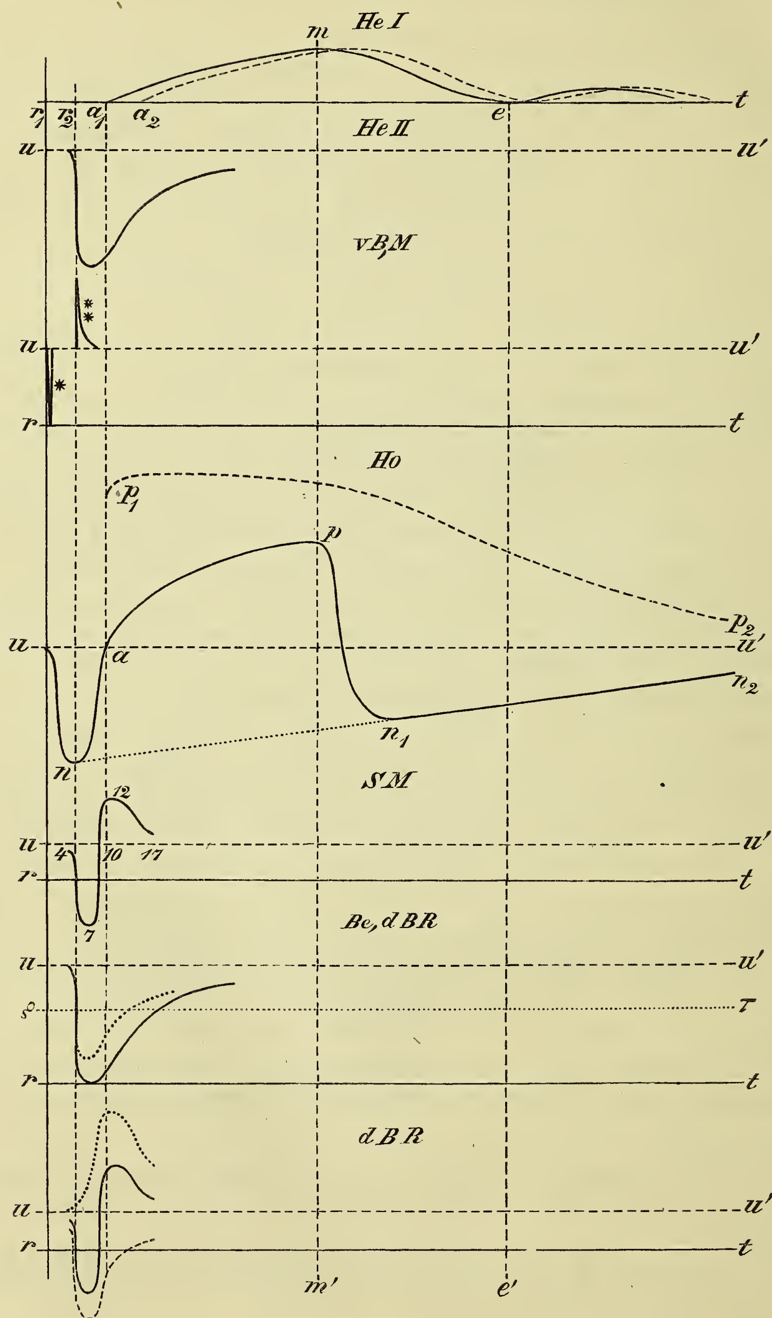
Der Nerv eines querdurchschnittenen Gastroknemius $A$, dessen natürlichem Längs- und künstlichem Querschnitt der Nerv eines unversehrten Gastroknemius $B$ angelegt war, wurde elektrisch gereizt, wobei $B$ mitzuckte, und am Myographion eine secundäre Zuckungscurve verzeichnete (s. die gestrichelte Curve im Abschnitt *He I.* Fig. 38.)[2] Nun wurde der Nerv von $B$ zwischen $A$ und $B$ unmittelbar gereizt, und so eine Zuckungscurve gewonnen, welche die primäre heissen kann, weil sie, abgesehen von der verschiedenen Länge der in beiden Fällen von der Reizung zu durchlaufenden Nervenstrecken, zusammenfällt mit der Curve, die der primär zuckende Muskel zeichnen würde (s. die ausgezogene Curve in der Figur). Vermöge der bekannten Einrichtung des Myographions geschah beidemal die Reizung bei derselben Stellung des Cylinders, [627] nämlich im Punkt $r_1$ der Abscissenaxe. Die secundäre Zuckungscurve zeigt sich, bei gleicher Höhe und Form, gegen die primäre so verschoben, dass daraus späteres Eintreten der secundären Zuckung folgt. Die Verschiebung misst die Zeit, um welche die secundäre Zuckung später eintrat als die primäre. So kann man den unbekannten Augenblick der secundären Reizung $r_2$ bestimmen. Unter der Voraussetzung, dass bei der primären und bei der secundären Zuckung die Reizung gleich lange latent bleibt, findet man $r_2$, wenn man das dem Latenzstadium der primären Reizung entsprechende Stück der Abscissenaxe $r_1 a_1$ von $a_2$, dem Anfange der secundären Curve, ab negativ aufträgt. Es ergiebt sich, dass $r_2$ etwa in die Mitte des Latenzstadiums $r_1 a_1$ trifft, oder, da dies Stadium etwa 0·01'' dauert, dass der zuckungerregende Theil der Schwankung dem Anfange der Verkürzung $a_1$ um etwa 0·005'' voraufgeht.

Bleibt die secundäre Zuckung unter dem Maximum, so nähert $r_2$ sich $a_1$, nie jedoch um eine beträchtliche Grösse. Hr. HELMHOLTZ erklärte dies so, dass dann ein grösserer Theil der Schwankung ablaufen müsse, damit Reizung eintrete. Daraus, dass $r_2$ nie in das Stadium der steigenden Energie hinüberrückt, schloss er, „dass die Schwankung bis zum „Eintritt der Zuckung anhält; ob sie noch länger dauert oder nicht, lässt „sich auf diesem Wege nicht ausmachen; doch scheinen diejenigen Theile „derselben, deren Schwankungsgeschwindigkeit gross genug ist, um den

[1] Um den schleppenden Ausdruck „Stadium der latenten Reizung" zu vermeiden, rede ich in der Folge, wo dieser Begriff oft wiederkehrt, kurz vom „Latenzstadium".

[2] Diese Zuckungscurven sind nach den meines Wissens nie veröffentlichten HELMHOLTZ'schen Myogrammen copirt.

Fig. 38.


He I
m
t
He II
e
u
u'
vBM
u
u'
r
t
Ho
p
u
a
u'
n
SM
u
u'
r
t
Be, dBR
u
u'
r
t
dBR
u
u'
r
t
m'
e'

„Nerven des secundär zuckenden Muskels zu reizen, der Zuckung vorauf-„zugehen, und die Theile, welche etwa noch während der Zuckung „vorhanden sind, so langsam zu schwanken, dass sie nicht mehr reizen.“[1]

Die Curve im Abschnitt *He II.* der Fig. 38 erläutert Hrn. Helmholtz' Vorstellung von der Schwankungscurve. Wie überall in Fig. 38. ist der Zeitwerth der Abscissen derselbe wie im Abschnitt *He I.* und die der Abscissenaxe parallele gestrichelte Gerade *uu'* bedeutet die ursprüngliche Stromkraft des Muskels. Die Abscissenaxe selber (wo sie vorhanden ist, mit *rt* bezeichnet), fehlt hier, da über die [628] Tiefe der Schwankung der Helmholtz'sche Versuch nichts lehrt.[2]

Durch diese unerwartete Einsicht wurde das mit dem Froschhammer erhaltene Ergebniss entwerthet. Wäre dies Ergebniss Umkehr des Stromes gewesen, so hätte es an Bedeutung nicht verloren. So konnte, während die Reizung latent war, der Strom negativ, während der Zuckung wieder positiv geworden sein. Versuche am Froschhammer können diese Möglichkeit nicht ausschliessen.

Die Fortschritte, welche ich seitdem in der elektrophysiologischen Technik überhaupt machte, würden auch die Versuche mit dem Froschhammer sehr zu vervollkommnen erlauben. Die Bussole mit aperiodischem Magnete, die Compensation mittels eines von einer beständigen Kette abgeleiteten Stromzweiges, die gleichartigen und unpolarisirbaren Elektroden, wären schon eine grosse Verbesserung. Eine noch wichtigere gäbe die Anwendung eines Gracilis mit thermischem Querschnitt als arbeitenden und stromgebenden Muskels zugleich ab. (Vergl. oben S. 409.) Nicht bloss würde dadurch die Unsicherheit gehoben, welche in Bezug auf Gleichzeitigkeit der Vorgänge an zwei Muskeln immer und namentlich dann herrscht, wenn beide unter so verschiedenen Bedingungen sich befinden, wie hier (s. oben S. 494). Sondern nach den Ergebnissen der ersten Abtheilung kann es für grundlegende Ermittelungen, wie wir sie hier beabsichtigen, kaum einen minder tauglichen Muskel geben, als den Gastroknemius, an welchem ausser Täuschungen durch Parelektronomie noch solche durch den Conflict der von beiden Sehnenspiegeln ausgehenden Neigungsströme drohen (s. oben S. 420).

Ich verzichtete indess auf Wiederholung meiner Versuche am Froschhammer in vervollkommneter Gestalt, da deren aus Hrn. Helmholtz' Entdeckung folgender grundsätzlicher Fehler doch derselbe blieb; und ich hatte vollends keinen Anlass mehr, diese Versuche wieder aufzunehmen, seit Hr. Bernstein uns im Differential-Rheotom das Mittel gab, die vor-

---

[1] Briefliche Mittheilung.

[2] Vergleiche übrigens unten §. XVIII.

liegende Frage [629] frei von allen Verwickelungen leicht und sicher zu entscheiden. Bevor wir hiervon nähere Kenntniss nehmen, verweilen wir noch passend etwas bei einigen anderen unseren Gegenstand mehr oder minder nahe berührenden Verhandlungen.

## §. XVI. Sonstige Verhandlungen und Versuchspläne.

### 1. A. v. Bezold's Methode der künstlichen secundären Zuckungen.

A. v. Bezold hatte gefunden, dass bei Reizung eines Nerven durch Schliessen oder Oeffnen eines sehr schwachen beständigen Stromes die Zuckung später eintrat, als bei Reizung durch einen Oeffnungsinductionsschlag. Er glaubte bewiesen zu haben, dass diese Verzögerung auf einem in der erregten Nervenstrecke selber stattfindenden Zeitverlust beruhe, und hierauf gestützt, hatte er ein neues Gesetz der elektrischen Nervenerregung aufgestellt, wonach bei Schliessung und Oeffnung schwacher beständiger Ströme die Reizung erst nach Ablauf der Stromschwankung entstehen sollte.[1]

Gleichheit der Latenzstadien bei der primären und bei der secundären Zuckung, auf welche Hr. Helmholtz als selbstverständlich gefusst hatte, erschien nun nicht mehr sicher. Nach v. Bezold träte zum Latenzstadium der Reizung im Muskel bei der secundären Zuckung wahrscheinlich noch ein Zeitverlust, gleichsam ein zweites Latenzstadium, im Nerven. Indem v. Bezold einen auf- oder absteigenden Strom von der Stärke des Muskelstromes im Nerven des stromprüfenden Schenkels unterbrach und sogleich wiederherstellte, erzeugte er, wie er es nannte, 'künstliche secundäre Zuckungen'. Unter gewissen Bedingungen stimmten diese mit den natürlichen hinsichtlich ihrer Stärke und ihres Verlaufes, wie v. Bezold berichtet, auffallend überein. v. Bezold hielt sich danach für berechtigt, der secundären Reizung, im Gegensatze zu der von einem Oeffnungsinductionsschlag ausgehenden primären Reizung, denselben Verlauf zuzuschreiben, als handele es sich um schnelle [630] Unterbrechung und Wiederherstellung eines schwachen beständigen Stromes. Er verlegte den Augenblick der Reizung also noch weiter zurück, als Hr. Helmholtz. Nach ihm liefe der zuckungerregende Theil der Schwankung innerhalb 0·0007'', also innerhalb des ersten Zehntels des Latenzstadiums der Reizung im primären Muskel (s. oben S. 473), voll-

[1] Untersuchungen über die electrische Erregung der Nerven und Muskeln. Leipzig 1861. S. 266 ff.

ständig ab.[1] Dieser Theil bestände in einer im Augenblick, wo die Nervenreizung im Muskel anlangt, plötzlich entstehenden Abnahme des Muskelstromes auf Null, welche ebenso rasch wieder verschwindet.[2] (S. die Curve (*) im Abschnitt *vB,M* der Fig. 38.)

Leider hat der früh verstorbene Forscher diese Untersuchung nur im Auszuge mitgetheilt, so dass seine Aufstellungen in mehrfacher Beziehung dunkel blieben. Sie näher zu erörtern, wäre nutzlos, da sie, wie wir jetzt bestimmt wissen, irrig sind. v. Bezold's Beschreibung passt auf keine der Erscheinungsweisen der Schwankung, welche uns seitdem thatsächlich bekannt wurden. Die Wahrnehmungen, welche ihn zu seinem neuen Gesetze der Nervenerregung führten, sind nicht ganz aufgeklärt, allein das Gesetz ist widerlegt.[3] Die Methode der 'künstlichen secundären Zuckungen' gestattet schwerlich einen sicheren Schluss über die Beschaffenheit der negativen Schwankung. Das Eintreten der secundären Zuckung hängt zwar ziemlich oft von der Richtung des Muskelstromes im secundären Nerven ab, doch gelang es mir bisher nicht, in dieser [631] Abhängigkeit ein Gesetz zu erkennen (s. oben S. 479—481). Vollends im Verlaufe der Zuckung, wenn sie einmal ausgelöst ist, liegt nicht genug Bezeichnendes, um daraus auf die Art der Stromschwankung zu schliessen, die sie hervorrief, und je schneller die Schwankung, gerade um so weniger. Dies geht recht deutlich daraus hervor, dass gewiss v. Bezold selber oft, ohne es zu bemerken, durch Stromumkehr bewirkte secundäre Zuckungen vor Augen hatte, nämlich jedesmal, dass er sich des unversehrten Gastroknemius als primären Muskels bediente, und dass der Muskel parelektronomisch war. Uebrigens sagt v. Bezold auch einmal, dass die Schwankung mindestens aus plötzlichem Verschwinden und ebenso schneller Wiederkehr des Stromes

[1] Monatsberichte der Berliner Akademie, 1861. S. 1023; — 1862. S. 199. — Vergl. oben S. 448.

[2] Monatsberichte u. s. w. 1862. S. 201.

[3] Hr. Jul. König, der unter Hrn. Helmholtz' Leitung v. Bezold's Gesetz der Nervenerregung prüfte und nicht bestätigt fand, deutete an, wie man das scheinbare Auseinanderfallen von Stromschliessung und -Oeffnung und Nervenreizung noch anders erklären könne, als durch latente Reizung im Nerven, nämlich dadurch, dass der stärkere Reiz des Inductionsschlages im Nerven schneller fortschreite, als der schwächere der Kettenstromschwankung. (Wiener Sitzungsberichte u. s. w. 1870. Bd. LXII. Abth. II. S. 545.) Doch wird solche mehrfach behauptete Abhängigkeit der Geschwindigkeit der Reizung von der Reizstärke durch Hrn. Rosenthal neuerlich bestimmt geleugnet. (Monatsberichte der Berliner Akademie. 1875. S. 419.)

[4] Monatsberichte u. s. w. 1862. S. 200.

bestehen müsse.[1] Das 'mindestens' scheint zu zeigen, dass er es damals doch für möglich hielt, dass der Strom sich umkehre.

### 2. Was aus der negativen Schwankung des Herzmuskels für unsere Frage sich ergiebt.

Die Helmholtz'sche Entdeckung, dass der zuckungerregende Theil der negativen Schwankung der Verkürzung des Muskels vorhergeht, wurde durch Hrn. Kölliker's und H. Müller's Beobachtungen über die elektrischen Vorgänge am schlagenden Herzen bald darauf sehr schön bestätigt.[2] Die Skeletmuskeln unterscheiden sich von den glatten Muskeln, was den Zuckungsverlauf betrifft, bekanntlich insofern, als in ersteren die Vorgänge binnen Zehnteln, ja Hunderteln der Secunde sich zusammendrängen, welche in letzteren ebensoviel Secunden beanspruchen.[3] Wie schon Eduard Weber bemerkte,[4] hält [632] sichtlich das Herz die Mitte zwischen sogenannter animaler und organischer Bewegung, obschon es durch seine chemische Beschaffenheit so bestimmt den animalen Muskeln sich anreiht, wie die fast schon quergestreift zu nennende rothe Fleischfaser im Muskelmagen der Vögel den organischen Muskeln.[5] Daher wenigstens am kaltblütigen Herzen der unbewaffnete Zeitsinn zwischen dem zuckungerregenden Theile der negativen Schwankung und der Systole den Zwischenraum aufzufassen vermag, dessen Wahrnehmung an Skeletmuskeln nicht ohne Chronoskop gelingt. Aber auch am Kaninchen geht nach Hrn. Donders' graphischen Versuchen die secundäre Zuckung der Kammersystole, durch deren negative Schwankung sie erzeugt wird, um $^1/_{70}$'' voraus.[6]

---

[1] Berichte u. s. w. 1862. S. 200.

[2] Zweiter Bericht über die im Jahre 1854/55 in der physiologischen Anstalt der Universität Würzburg angestellten Versuche. Sep.-Abdruck aus den Verhandlungen der phys.-med. Gesellschaft in Würzburg. Würzburg 1856. S. 96 ff.; — Monatsberichte der Berliner Akademie. 1856. S. 135 ff.

[3] Artikel „Muskelbewegung" von Ed. Weber in Rud. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. III. 2. Abth. S. 3; — Helmholtz im Archiv für Anatomie u. s. w. 1850. S. 308. 363.

[4] A. a. O. S. 34.

[5] Vergl. oben S. 25.

[6] Onderzoekingen gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Derde Reeks. I. Utrecht 1872. bl. 261. — Hr. Kölliker und H. Müller sahen in einigen Fällen vom Herzen aus noch eine zweite secundäre Zuckung, der Diastole entsprechend, erfolgen, von der sie glauben, dass sie von Rückkehr des Stromes zu der ihm in der Ruhe zukommenden Stärke herrühre. Es steht zu erwarten, dass wir über diese diastolische Zuckung durch Hrn. Engelmann bei seinen gleich zu erwähnenden Untersuchungen Aufklärung erhalten werden. Auf-

Die negative Schwankung des Herzstromes hat Hr. MEISSNER in seiner in der ersten Abtheilung dieser Abhandlung widerlegten Theorie in einer Art verwendet, welche hier erwähnt werden muss, um zu verhindern, dass ein Missverständniss sich festsetze. Hr. MEISSNER[1] änderte Hrn. KÖLLIKER's und H. MÜLLER's Beobachtungsweise dahin ab, dass er das Froschherz, unter Schonung der Atrioventricularganglien, der Vorhöfe beraubte. Der Ventrikel schlage dann in der Regel nicht mehr [633] von selber, wohl aber lasse sich durch leiseste mechanische Reizung der Gegend, wo die Atrioventricularganglien liegen, jeden Augenblick eine Systole auslösen. In der Ruhe wirkt ein solches Präparat elektromotorisch in dem Sinne, wie nach meiner ursprünglichen Beobachtung[2] das ganze unversehrte Herz, d. h. die Spitze des Ventrikels verhält sich negativ gegen seine Seitenfläche oder seine Basis.

Hr. MEISSNER fand nun, dass, wenn er den Kreis in dem Augenblick schloss, wo ein Gehülfe die Ganglien reizte, statt eines positiven Ausschlages ein negativer erfolgte. Gleichzeitig trat secundäre Zuckung eines stromprüfenden Schenkels ein, dessen Nerv dem Herzen anlag; sichtlich später erst begann die Systole.

In diesen Wahrnehmungen lag meines Erachtens Nichts, was nicht nach Hrn. KÖLLIKER's und H. MÜLLER's Mittheilungen von selber sich verstanden hätte, und nicht leicht aus meiner Lehre erklärlich gewesen wäre. Allein Hr. MEISSNER ging darauf aus, die Thatsachen am Froschherzen in einer Art auszulegen, die mit seiner Deutung der Thatsachen am Froschgastroknemius stimmte. Wie man sich erinnert, nahm er hier im Augenblick der Reizung, welche die secundäre Zuckung erzeugt, eine vom gewöhnlichen Muskelstrom unabhängige elektrische Entladung im positiven Sinn an. Die negative Schwankung sollte stetiger Natur sein, unmittelbar nichts mit der Zusammenziehung zu thun haben und nur Folge der Selbst-Zusammendrückung des Muskels bei vollkommenem Tetanus sein.

In Fig. 38, *vB,M* ( ⁑ ), sieht man jetzt diese Auffassung bildlich dargestellt. Es ist nichts da, als ein zum stetig fortfliessenden Muskelstrome sich hinzufügender positiver Stromstoss im Augenblick $r_2$; denn obschon er sich nicht darüber äusserte, hatte Hr. MEISSNER wohl keinen

---

fallend ist, dass v. BEZOLD den Widerspruch nicht bemerkt zu haben scheint, in welchem seine Vorstellung vom zeitlichen Verlauf der Schwankung (s. oben S. 500. 501) mit einer diastolischen Zuckung stehen würde.

[1] HENLE's und PFEUFFER's Zeitschrift für rationelle Medicin. 3. R. Bd. XV. S. 50–54. — Vergl. oben S. 442. 482. 483.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 199.

Grund, seine positive Schwankung an eine andere Stelle zu verlegen, als wo nach Hrn. Helmholtz der zuckungerregende Theil der negativen Schwankung liegt.

Hr. Meissner behauptete nun, dass am Froschherzen der [634] Verlauf der Dinge zwar im Wesentlichen derselbe, in gewisser Beziehung aber der entgegengesetzte sei. Den negativen Ausschlag, den man vom Herzen zugleich mit der secundären Zuckung etwas früher als die Systole erhält, erklärte er für eine selbständige Erscheinung, entsprechend der angeblichen positiven Entladung am Gastroknemius. Der positive Ausschlag am ruhenden Herzen rühre vom gewöhnlichen Muskelstrom her, und verändere sich während der Systole nicht, sondern werde nur durch die negative Schwankung zeitweise übercompensirt; denn nur tetanische Verkürzung erzeuge durch Selbst-Zusammendrückung Stromabnahme. Die der Zusammenziehung voraufgehende elektrische Entladung sei aber am Gastroknemius zufällig dem Muskelstrome gleich gerichtet, am Herzen ihm entgegengesetzt.

Nach allem Vorhergegangenen brauche ich das Unhaltbare dieser Aufstellungen nicht mehr im Einzelnen nachzuweisen. Dass Hrn. Meissner's Deutung der von ihm entdeckten positiven Schwankung am Gastroknemius irrig war, wurde in der ersten Abtheilung (S. 439 ff.) gezeigt. Damit fällt auch seine Auffassung der negativen Schwankung am Herzen als einer selbständigen, zufällig dem Muskelstrom entgegengesetzt gerichteten Entladung. Man könnte nun aber geneigt sein, diese negative Schwankung, wobei das Herz auch umgekehrt elektromotorisch wirkt, wie in der Diastole, als einen Beweis dafür anzusehen, dass bei der Zuckung der Muskelstrom sich umkehre. Dies wäre ganz unrichtig. Die Thatsachen am Herzen, wie Hr. Meissner sie beschrieb, bieten nichts, was nicht an jedem schwach parelektronomischen regelmässigen Muskel vorkäme, und dass das Herz parelektronomisch sei, durfte bis zu den sogleich zu erwähnenden Versuchen von Hrn. Engelmann aus Hrn. Kölliker's und H. Müller's Angabe gefolgert werden, wonach ein mit Kammerfläche und Spitze aufgelegtes Herz schwächer wirkt, als wenn man statt der Spitze deren Querschnitt auflegt.[1]

Im Anschluss an Hrn. Donders' schon erwähnte Versuche [635] (s. oben S. 483. 502) unternahm neuerlich Hr. Engelmann, anfangs zusammen mit Hrn. Nuel und Hrn. Pekelharing, Untersuchungen über diesen Gegenstand, welche noch nicht abgeschlossen sind, aber schon manche Punkte in anderem Licht erscheinen lassen.[2] Nach Hrn. Engel-

---

[1] A. a. O. S. 97 (5); — Monatsberichte u. s. w. S. 146 (5).

[2] Over de electro-motorische verschijnselen der spierzelfstandigheid van het

MANN's letzter Bekanntmachung lässt die Oberfläche des unversehrten ruhenden Herzens keine elektromotorischen Unterschiede erkennen. Nur zuweilen ist die Spitze schwach positiv gegen die Kammerbasis. Die bekannten elektromotorischen Erscheinungen des ruhenden Herzens sind darauf zurückzuführen, dass die negativ sich verhaltende Stelle irgend welcher Schädlichkeit unterlag. Der zuerst von mir beobachtete Strom von der Spitze des scheinbar unversehrten Herzens durch das Herz zur Basis wird keinen anderen Ursprung gehabt haben. Anatomische Untersuchungen zeigten Hrn. ENGELMANN nirgend im Herzen eine sichere Spur von Faserenden. Ueberall, auch an der Kammerbasis, verlaufen nach ihm die Fasern der Oberfläche parallel, und die Ebenen der Querstreifen sind winkelrecht zu dieser Fläche. Daraus erklärt sich nicht bloss die elektromotorische Unwirksamkeit des unversehrten Herzens, sondern auch die Schwierigkeit ist gehoben, die ich stets darin fand, dass die Herzspitze als Querschnitt sich verhielt, obschon dort nur sich umbiegende Fasern beschrieben wurden.

Seine Untersuchungen über die negative Schwankung bei der Systole hat Hr. ENGELMANN noch nicht ausführlich bekannt gemacht. Seine vorläufige Mittheilung enthält aber schon zwei nicht unwichtige Thatsachen. Erstens tritt auch zwischen Punkten der Herzoberfläche, welche in der Ruhe sich gleich- [636] artig verhalten, bei der Systole elektrische Wirkung auf. Zweitens kehrt sich der Strom zwischen natürlichem Längsschnitt an der Basis und künstlichem Querschnitt an der Spitze bei der Systole um. Ich glaube nicht, dass dies Stromumkehr im Sinn ist, wie wir hier davon reden, sondern stelle mir vor, dass zur Abnahme des Stromes zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt eine in Bezug auf diesen Strom negative elektrische Wirkung der ersterwähnten Art sich gesellt. Freilich bleibt zu erklären, wie solche Wirkungen zwischen isoëlektrischen Punkten der Herzoberfläche bei der Systole zu Stande kommen. Hr. ENGELMANN deutet an, dass es sich dabei um eine peristaltisch vorschreitende Zuckungswelle handele. Es wäre nutzlos, vor ausführlicher Darlegung des Thatbestandes, welche hoffentlich bald bevorsteht, näher hierauf einzugehen.

Hr. MAREY hat kürzlich einige Versuche veröffentlicht, welche zu

---

hart, in: Proces-verbaal van de gewone Vergadering der Afdeeling Naturkunde van de kon. Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. 28. Junij 1873. 1873—74. No. 2. Bl. 2; — NUEL, Note sur les phénomènes électriques du coeur. Bulletin de l'Académie royale de Belgique. 2me Série. t. XXXVI. 1873. p. 335 et suiv.; (s. auch Hrn. SCHWANN's Bericht, ibid. p. 302); — ENGELMANN, Onderzoekingen, gedaan in het Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. Derde Reeks. III. 1874. Bl. 101.

zeigen bestimmt sind, dass die Systole, trotz ihrer längeren Dauer, einer einzigen Zuckung entspricht. Mit Recht sieht er einen Beweis dafür darin, dass die Systole nur eine einzige secundäre Zuckung erzeugt. Wenn der Verlauf der Zuckung eines Muskels durch Kälte oder Veratrin verzögert wird, oder wie bei der Schildkröte von Natur ein langsamer ist, behält die secundäre Zuckung ihren gewöhnlichen Verlauf, ganz wie es beim Herzen der Fall ist, dagegen sobald mehrere primäre Zuckungen zu einer längeren verschmelzen, sich dies durch secundären Tetanus verräth. Während Einzelzuckungen normaler Froschmuskeln nicht auf die Multiplicatornadel wirken, thue dies bekanntlich die Systole des Herzens; allein auch verlangsamte Einzelzuckungen und die von Schildkrötenmuskeln wirken auf die Nadel.[1]

Es scheint, dass Hr. Marey die in Deutschland über die Einzelschwankung angestellten Untersuchungen fremd blieben. Seine Angabe, dass verlangsamte oder von Natur langsame [637] Einzelschwankungen auf ein Galvanometer wirken, welches die Einzelschwankung normaler Muskeln nicht anzeigt, verdient aber an der Hand unserer Einsichten geprüft zu werden.

### 3. Versuch der Entscheidung unserer Frage durch stetigen Tetanus.

Die Schwierigkeit, vor der wir stehen, beruht einerseits auf der geringen Beweglichkeit des Magnetspiegels, andererseits auf der Unterbrochenheit des Tetanus. Vermöchte der Spiegel der Stromschwankung zu folgen, so genügte eine Einzelschwankung, um unsere Frage zu beantworten; und gelänge es, anhaltend stetigen Tetanus zu erzeugen, so genügte jeder Grad von Beweglichkeit des Spiegels, um uns über die Tiefe der Schwankung zu unterrichten.

Schon in den 'Untersuchungen' vermuthete ich, dass jeder Tetanus unstetig sei.[2] Alle seitdem hinzugekommenen Thatsachen haben diese Vermuthung nur bestätigt. Die Unstetigkeit des Tetanus, wo sie nicht in seiner Entstehungsart begründet ist, giebt sich schon dem Auge, oder im Myogramm, wo aber auch dies keine Unstetigkeit mehr verräth, durch den Muskelton und durch secundären Tetanus zu erkennen. Ich stelle in einer Anmerkung das Wissenswürdigste hierüber zusammen.[3]

---

[1] École pratique des hautes Études. Physiologie expérimentale. Travaux du Laboratoire de M. Marey etc. Année 1875. Paris 1876. p. 47—50.

[2] Bd. II. Abth. I. S. 90. 121.

[3] Hrn. Heidenhain's mechanischer Tetanus erscheint nach Hrn. Marey (Du Mouvement dans les Fonctions de la Vie. Paris 1868. p. 393) stetig, giebt aber, wie ich fand, secundären Tetanus (s. unten 3. Abth. §. XXVII.). Hrn. Pflüger's

[638] Es giebt nun aber doch eine Art des Tetanus, welche fast so aussieht, als wäre sie stetig. Dies ist die aus unbekannter Ursache eintretende Verkürzung des M. sartorius, welche bei meinem statistischen Verfahren zur Messung der Muskelstromkraft oft so lästig fällt.[1] Die Sartorien sterben in diesem Zustand ab. Sie zeigen darin sogleich eine um etwa 70 pCt. verminderte elektromotorische Kraft. Dies ist eine über dreimal grössere Kraftabnahme, als sie bei künstlichem Querschnitt als Nachwirkung je vorkommt (s. unten Abth. III. §. XX.). Man könnte daher meinen, dass man es mit dem fixirten elektrischen Zustande des Muskels bei der Zusammenziehung zu thun habe, und daraus schliessen wollen, dass der Strom bei der Zuckung sich nicht umkehre. Ich brauche kaum auszuführen, wie unsicher dieser Schluss schon allein deswegen erscheint, weil doch wohl auch solcher Zusammenziehung ein Latenzstadium voraufgeht, in welchem der Strom um eine unbekannte Grösse weiter in negativem Sinne sich verändert haben wird, als in dem zur Beobachtung kommenden Stadium, welches zwischen Tetanus und Starre gleichsam die Mitte hält. Experimentiren lässt sich über diese Art des Tetanus gegenwärtig [639] nicht, weil man die Umstände noch nicht kennt, unter

---

Tetanus durch den constanten Strom (Virchow's Archiv u. s. w. 1858. Bd. XIII. S. 437) ist nach Hrn. Marey's Myogramm (L. c. p. 390; — cfr. p. 311. Note 1.) weniger stetig als Tetanus durch einen unterbrochenen Strom. — Beiläufig gesagt, schreibt Hr. Marey mir die Meinung zu, der Tetanus durch constanten Strom beruhe auf chemischer Reizung durch die an den Elektroden ausgeschiedenen Ionen. Dies ist ein Missverständniss, wie schon daraus folgt, dass Hr. Pflüger sich bekanntlich zum Zuleiten des Stromes seiner Eiweissröhren bediente. Als ich in den „Untersuchungen" u. s. w. Bd. I. S. 258 sagte, die Zuckungen, welche man zuweilen bei geschlossener Kette beobachte, rührten von zerstörender Elektrolyse des Nerven her, dachte ich an unmittelbare zuckungerregende Wirkung des elektrolytischen Vorganges in der Substanz des Nerven. — Die Unstetigkeit des von mir sogenannten Ritter'schen Tetanus, der seitdem Hrn. Pflüger dazu diente, seine Erklärung des Zuckungsgesetzes zu bewahrheiten (Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 133) war schon Joh. Wilh. Ritter aufgefallen (Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 365; — Bd. II. Abth. I. S. 39. 40. 57. 58). Die von mir durch secundären Tetanus bewiesene Unstetigkeit des Strychnintetanus (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 121. 515) hat Hr. Marey myographisch dargethan (l. c. p. 400). Der willkürliche Tetanus menschlicher Muskeln lässt zwar den stromprüfenden Schenkel in Ruhe, nicht aber, weil er stetig ist, wie der Muskelton und das Zittern der tetanisirten Gliedmaassen beweisen (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 304 ff. 368 ff.). Dass endlich auch der durch chemische Reizung des Nerven, z. B. durch Kochsalzlösung, entstehende Tetanus unstetig ist, lehren Augenschein und Myographion (Marey, l. c. p. 398), und Hr. Bernstein beschrieb kürzlich das den Kochsalztetanus begleitende Muskelgeräusch (Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie u. s. w. 1875. Bd. XI. S. 195).

[1] S. oben S. 196.

denen er zu erwarten ist. Durch die Wirkung von Ammoniakdampf auf den künstlichen Muskelquerschnitt lässt sich eine ähnliche Erscheinung hervorrufen. Es würde uns aber hier zu weit vom Ziel ablenken, wollten wir auf die Unterschiede eingehen, welche den Ammoniaktetanus von jenem freiwilligen Tetanus zu trennen scheinen, und ihn jedenfalls noch ungeeigneter machen, hier ein Wort mitzureden (vergl. oben S. 421. Anm. 2).

#### 4. Versuch der Entscheidung auf elektrolytischem Wege.

Ein sinnreicher Freund schlug mir vor, die Frage nach der Stromumkehr bei der Zuckung mit Hülfe der elektrolytischen Wirkung des Muskelstromes zu entscheiden. Im Muskelstromkreise wäre Jodkaliumstärkekleister zwischen Platinspitzen eingeschaltet. Wie ich 1842 in meinem 'Vorläufigen Abriss' zeigte, entsteht mit der Zeit ein Jodfleck an der positiven Spitze.[1] Die Meinung war nun, dass wenn der zuckende Muskel negativ wirkte, beim Tetanisiren auch an der negativen Spitze ein Fleck erscheinen müsste.

Allein mit diesem in seiner Einfachheit scheinbar vielversprechenden Plan ist nichts anzufangen. Weniger deshalb, weil bei der Schwäche der Wirkung die Dauer des Tetanus vermuthlich nicht ausreichen würde, um einen Fleck erscheinen zu lassen. Mit Hülfe der unpolarisirbaren Elektroden und der Neigungsströme würde es jedenfalls jetzt leichter sein, Zeichen der Elektrolyse durch den Muskelstrom zu erhalten, als früher. Wenn aber auch beim Tetanus an der negativen Spitze ein Fleck erschiene, so würde dies noch nicht Umkehr des Muskelstromes bedeuten. Ein Fleck würde hier nämlich auch ohne Stromumkehr, nur in Folge von Abnahme der Stromkraft erscheinen, wegen der dabei freiwerdenden Ladungen der Platinspitzen, ganz wie bei Einschaltung von Jodkalium in einen Inductionskreis, der nach Durchgang des Stromes geschlossen bleibt,[2] oder in den Experimentirkreis eines Zitterfisches, wenn [640] man nicht während des Schlages einen dadurch erregten Muskel den Kreis öffnen lässt.[3]

#### 5. Versuch der Entscheidung mittels des Elektrodynamometers.

Schon Hr. Wilhelm Weber schrieb seinem Elektrodynamometer grosse Wichtigkeit für gewisse physiologische Versuche zu. Er zeigte, wie in Verbindung mit dem Magnetometer das Dynamometer diene, um

---

1 Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 3; — Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 439 ff.

2 Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 400.

3 Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1858. S. 102; — s. unten Abh. XXIX.

Stärke und Dauer kurzer beständiger Ströme zu bestimmen. Noch unbekannt mit meinem allgemeinen Gesetze der elektrischen Nervenerregung[1] nahm er, wie einst Volta, an, dass der Strom in beständiger Grösse den Nerven errege, dass aber dieser schnell unempfänglich für den elektrischen Reiz werde. Auf diesem Standpunkte versprach sich Hr. Weber grosse Aufschlüsse von der mittels Bussole und Dynamometer ausgeführten Bestimmung der Stärke und Dauer kurzer zur Reizung verwendeter Ströme.[2] Diese Hoffnung konnte sich nicht erfüllen, und die physiologischen Dienste des Elektrodynamometers haben sich bisher darauf beschränkt, dass mit dessen Hülfe hin und wieder ein Schlitteninductorium empirisch graduirt wurde.[3]

Dagegen machte kurz nach dem Erscheinen der 'Maassbestimmungen' Hr. Helmholtz mich auf eine andere Anwendung aufmerksam, welche das Elektrodynamometer vielleicht in der Physiologie finden könne, nämlich zur Entscheidung der hier vorliegenden Frage.

Bekanntlich ist die im Elektrodynamometer wirksame ablenkende Kraft, wenn derselbe Strom die feste und die beweg- [641] liche Rolle durchfliesst, dem Quadrat der Stromstärke proportional, also von der Stromrichtung unabhängig. Abwechselnd gerichtete Ströme, die an der Bussole sich aufheben, wirken am Dynamometer so stark, als wären sie gleichgerichtet.

Man denke sich den vom künstlichen Querschnitt abgeleiteten Muskelstrom abwechselnd während Ruhe und während Tetanus durch unpolarisirbare Elektroden der Bussole und dem in denselben Kreis eingeschalteten Dynamometer zugeführt. An beiden Instrumenten seien die Ablenkungen, oder deren Tangenten, den ablenkenden Kräften proportional. In der Ruhe heissen diese Ablenkungen, oder deren Tangenten, an Bussole und Dynamometer beziehlich $B_r$ und $D_r$. Wir nehmen ferner an, dass auch im Tetanus die Spiegel beider Instrumente in beständigen Ablenkungen $B_t$, $D_t$ gehalten werden. An der Bussole ist im Tetanus die ablenkende Kraft proportional der mittleren Ordinate der Ktenoide, deren Zahnlänge es zu ermitteln gilt, am Dynamometer proportional der mittleren Ordinate der Quadrate sämmtlicher Ordinaten derselben Ktenoide.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. 1848. S. 258.

[2] Elektrodynamische Maassbestimmungen. Leipzig 1846. S. 81; — Vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 262. 263. — Hrn. Eckhard's Versuch, Weber's Methode auf den Schlag von Torpedo anzuwenden, misslang wegen Mangelhaftigkeit der Vorrichtung (Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bd. I. Giessen 1858. 4⁰. S. 165).

[3] Vergl. Fleischl, Ueber die Graduirung elektrischer Inductions-Apparate. Wiener Sitzungsberichte. 1875. Bd. LXXII. Abth. III. Sep.-Abdr.

Die Stärke des Muskelstromes in der Ruhe heisse $I$, der Betrag, um welchen sie während der Einzelschwankung abnimmt, heisse $x$, also $I - x$ die Stärke während der Schwankung. Wir wollen erfahren, ob $x >$, $=$ oder $< I$ sei.

Der Einfachheit halber ersetzen wir zunächst die Ktenoide durch eine gebrochene Linie, d. h. wir denken uns die Ktenoidenzähne gestreckt rechteckig, ihre Seiten der Ordinatenaxe parallel, ihr unteres Ende der Abscissenaxe parallel abgeschnitten. Auch sehen wir von der Nachwirkung ab. Die Breite der Zähne, d. h. die Dauer der Einzelschwankungen, verhalte sich zu dem sie trennenden Zwischenraume, d. h. zur Zeit, wo der Strom so stark ist, wie in der Ruhe, wie $T : R$. Endlich $b$ sei die Bussolen-, $d^2$ die Dynamometer-Constante, $m$ das Moment des Bussolmagnetes. Dann ist:

$$\left.\begin{aligned} B_r &= bmI, \\ B_t &= bm\left[\frac{IR + (I-x)\,T}{R+T}\right], \end{aligned}\right\} \cdots\cdots 1)$$

[642]

$$\left.\begin{aligned} D_r &= d^2 I^2, \\ D_t &= d^2\left[\frac{I^2 R + (I-x)^2 T}{R+T}\right]. \end{aligned}\right\} \cdots\cdots 2)$$

Für $x \overset{=}{>} 2I$ hat man $D_t > D_r$ für jeden endlichen Werth von $R$, $T$ und $d^2$. Erfolgte also im Tetanus am Dynamometer keine oder positive Schwankung, so bedeutete dies, dass in der Einzelschwankung der Strom sich umkehrt, und zwar würde er im ersten Fall unterhalb der Abscissenaxe dieselbe Stärke erreichen, wie in der Ruhe oberhalb, im zweiten diese Stärke überschreiten.

Bleibt dagegen $D_t > D_r$, so lehrt das Dynamometer an sich nicht mehr als die Bussole; $x$ kann $\gtreqqless I$ sein. Zur Bestimmung von $x$ im Verhältniss zu $I$ liefert das Dynamometer mit Hülfe von (2) zwar die Gleichungen [1]

---

[1] $I$ ist positiv genommen. — Für $D_r > D_t$ ist die Grösse unter dem Wurzelzeichen stets positiv. Für $D_r > D_t$ kann sie Null und negativ werden. Sie wird Null für

$$\frac{D_r}{D_t} = \frac{R+T}{R},$$

und $x$ ist dann $= I$, denn wenn die Ktenoidenzähne bis zur Abscissenaxe reichen, muss am Dynamometer wie an der Bussole die stetige zur unterbrochenen Wirkung so sich verhalten, wie die Dauer ersterer zur Dauer letzterer, daher in diesem Falle

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{1}{d}\left\{\sqrt{D_r} \pm \sqrt{D_t - \frac{R}{T}(D_r - D_t)}\right\} \\ I &= \frac{1}{d}\sqrt{D_r} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 3)$$

$$\frac{x}{I} = 1 \pm \sqrt{\frac{D_t}{D_r} - \frac{R}{T}\left(1 - \frac{D_t}{D_r}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 4)$$

[643] Allein erstens kennt man nicht das Verhältniss $R : T$, und kennte man es, so brauchte man nicht das Dynamometer, da die Bussole leichter und einfacher giebt (1)

$$x = \frac{1}{bm}(B_r - B_t)\left(\frac{R}{T} + 1\right) \quad \ldots\ldots 5)$$

$$I = \frac{1}{bm} B_r$$

$$\frac{x}{I}\left(1 - \frac{B_t}{B_r}\right)\left(\frac{R}{T} + 1\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 6)$$

Zweitens hat man kein Mittel, um zwischen den beiden Zeichen in (3) zu entscheiden. Im Falle $D_t < D_r$ ist uns also mit den Dynamometerangaben so wenig geholfen, wie mit den Bussolangaben.

Man findet nun zwar leicht aus (4) und (6)

$$\frac{R}{T} = \frac{\frac{D_t}{D_r} - \left(\frac{B_t}{B_r}\right)^2}{\left(1 - \frac{B_t}{B_r}\right)^2},$$

und die so sich zeigende Möglichkeit, wenn auch nicht $\frac{R}{T}$ am Muskel numerisch auszuwerthen, doch eine Grenze dafür anzugeben, ist gewiss in hohem Grade beachtenswerth. Zu dem hier uns gesteckten Ziele führt aber bequemer eine andere Combination der Angaben beider Instrumente, die Bildung nämlich des Bruches

---

$$\frac{D_r}{D_t} = \frac{B_r}{B_t}.$$

Zugleich macht $x = I$ aber $\frac{D_r}{D_t}$ zum Maximum, wie die Anschauung zeigt und die Rechnung bestätigt. Deshalb kann nicht

$$\frac{D_r}{D_t} > \frac{R+T}{R}$$

werden, d. h. $>$ als der dem Verhältniss $\frac{D_r}{D_t}$ für $x = I$ zukommende Werth, und deshalb entspricht dieser Ungleichheit kein reeller Werth von $x$.

$$V = \frac{\frac{B_r}{B_t}}{\frac{D_r}{D_t}}.$$

Führt man in diesen Ausdruck die gehörigen Werthe aus (1) und (2) ein, so zeigt sich, dass $x \gtreqless l$ ihn $\gtreqless 1$ macht (vergl. die letzte Anm.). Sobald also $V$ die Einheit übersteigt, reichen die Ktenoidenzähne unter die Abscissenaxe.

[644] In Wirklichkeit weichen die Ktenoidenzähne von der ihnen hier zugeschriebenen Gestalt unstreitig insofern ab, als sie mehr oder minder spitz zulaufen, und ausserdem muss die Nachwirkung berücksichtigt werden. Diese Umstände verstärken aber nur die Beweiskraft unserer Schlüsse. Laufen die Zähne spitz zu, so müssen sie um so länger sein, um am Dynamometer den durch ihren Flächenraum diesseit der Abscissenaxe gemessenen Ausfall an ablenkenden Kräften zu überwiegen. Unter beständiger Stromabnahme, wie die Nachwirkung sie mit sich bringt, leidet die Ablenkung am Dynamometer verhältnissmässig mehr als die an der Bussole, und auch aus diesem Grunde müssen die Zähne tiefer hinab reichen, um die negative Schwankung am Dynamometer verhältnissmässig kleiner oder gleich Null zu machen, vollends sie in eine positive zu verwandeln.

Es würde sich nun vor Allem darum handeln, ob das Dynamometer empfindlich genug herzustellen sei, um daran den Muskelstrom zu beobachten. Unerreichbar scheint dies nicht. Im physikalischen Cabinet zu Leipzig hatte am 19. April 1851 Hr. Prof. Hankel die Güte, ein Dynamometer mit 18′ hoher Bifilaraufhängung so empfindlich wie möglich aufzustellen. Als dem Instrument der Muskelstrom durch Kupferelektroden in Kupfersulfatlösung zugeführt wurde, entstand eine Ablenkung von einem halben Scalentheil. Ich unternahm seitdem mit Hülfe der Hrn. Siemens und Halske, ein für thierisch-elektrische Versuche hinreichend empfindliches Dynamometer zu bauen. An diesem Instrumente war die bifilare Aufhängung verlassen. Die bewegliche Rolle hing an einem $2^{m}$ langen Silberdraht, und trug eine gut centrirte Platinspitze, die in Quecksilber tauchte und eine der beiden Zuleitungen bildete. Der Muskelstrom brachte aber keine bemerkbare Wirkung hervor, trotz der grossen Anzahl von Windungen, und obschon die Torsion so gering war, dass wegen der dadurch bedingten Unstetheit des Nullpunktes das Instrument fast unbrauchbar wurde.[1]

---

[1] Auch Hr. Edelmann in München hat neuerlich ein Dynamometer mit unifilarer Aufhängung angegeben, indem er unterhalb der beweglichen Rolle in der Ver-

[645] Allein es giebt eine Anordnung, mittels welcher dem Dynamometer gewiss die genügende Empfindlichkeit ertheilt werden könnte, und auf die Hr. HELMHOLTZ mich auch schon aufmerksam gemacht hatte. Es ist im Wesentlichen die, deren schon AMPÈRE sich bediente, um Anziehung und Abstossung zwischen zwei flachen Drahtspiralen oder zwischen solchen Spiralen und Magnetpolen nachzuweisen.[1] Sie besteht darin, an jedem Ende eines leichten, wagerecht in seiner Mitte bifilar, oder in passender Art unifilar aufgehängten Stabes eine Rolle anzubringen, und diese der Wirkung von zwei festen Rollen zu unterwerfen. Diese Anordnung bietet den Vortheil, dass das elektrodynamische Drehungsmoment ohne bedeutende Vermehrung der zu bewegenden Masse durch Verlängerung des Hebelarmes vergrössert wird.

Inmitten der mich umdrängenden Aufgaben bin ich nicht dazu gekommen, diesen Versuchsplan weiter zu verfolgen. Seine Verwirklichung betreffend, ist noch zu bemerken, dass er zur Entscheidung unserer Frage nur in dem Falle führen könnte, wo am Dynamometer Stillstand oder positive Schwankung, an der Bussole negative Schwankung erfolgte, wo also der Strom nicht allein sich umkehrte, sondern unterhalb der Abscissenaxe grössere Stärke erreichte als oberhalb. Die Entscheidung dagegen mittels des Bruches $V$ würde dadurch unausführbar, dass man bei Ableitung des Muskelstromes vom künstlichen Querschnitt im Tetanus keine beständige Ablenkung erhält (vergl. oben S. 412). Da aber, wie Hrn. BERNSTEIN's jetzt zu besprechende Versuche bewiesen, bei der Zusammenziehung der Strom sich nicht umkehrt, so würden, allem Ermessen nach, Dynamometerversuche am Muskel erfolglos sein.

## [646] §. XVII. Entscheidung der vorliegenden Frage durch Hrn. BERNSTEIN, und Wiederholung seiner Versuche.

Ich dachte zwar auch fortwährend daran, das andere schon in den 'Untersuchungen' angewandte Verfahren mit den beiden gegeneinander verstellbaren Unterbrechungsrädern, welches im Princip untadelig erschien (s. oben S. 486), wieder aufzunehmen und zu verbessern. Allein

---

Verlängerung des Torsionsdrahtes einen zweiten zuleitenden Draht befestigt. (WIEDEMANN, die Lehre vom Galvanismus u. s. w. Bd. II. Abth. II. 1874. N. 88. S. 720.)

[1] AMPÈRE et BABINET, Exposé des nouvelles Découvertes sur l'Électricité et le Magnétisme. Paris 1822. p. 64. Fig. 29. — Dasselbe Princip liegt LE BAILLIF's Sideroskop (POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1827. Bd. X. S. 508) und Hrn. DOVE's Galvanometer (ebenda, 1833. Bd. XXVIII. S. 586) zu Grunde.

mir schwebten dabei stets zwei an derselben Axe befindliche isolirende Walzen mit eingesprengten leitenden Stücken vor, etwa so, wie Hr. Blaserna sie neuerlich in seinem *Interruttore differenziale* zur Untersuchung des zeitlichen Verlaufes der Inductionsströme anwandte;[1] und ich blieb rathlos vor der Schwierigkeit stehen, durch schleifende Federn stetige Berührung zu erhalten. Zum Zeichen der Unstetigkeit ihrer Berührung erzeugen solche Federn stets Tetanus in den Kreis gebrachter Nervmuskelpräparate.[2] Nur durch grossen Druck kurzer schwingungsunfähiger Contactstücke schien diese Schwierigkeit sich überwinden zu lassen: dann läuft man aber wieder Gefahr, dass sich metallisch leitende Spurlinien der Contacte auf den isolirenden Theilen der Walzen bilden, und überdies verlangt der Apparat eine grosse treibende Kraft, über deren Erzeugung ich nicht mit mir einig wurde. So kam ich nicht über unbestimmte Projecte hinaus.

Hr. Julius Bernstein hat alle diese Schwierigkeiten so kühn wie glücklich beseitigt, indem er an Stelle der über isolirende und leitende feste Flächen schleifenden Federn verquickte Kupferspitzen setzte, welche durch Quecksilberkuppen streifen. Das Differential-Rheotom kann wirklich, wie Hr. Bernstein [647] selber zu erwähnen die Freundlichkeit hatte, gleich dem *Interruttore differenziale* als vervollkommnete Form meines verstellbaren Doppelunterbrechungsrades gelten.[3] In der ersten Abtheilung lernten wir schon mehrere, am Differential-Rheotom erhaltene, die negative Schwankung betreffende, wichtige Thatsachen kennen. Auch theilte ich dort meine eigenen Bemerkungen über dessen Gebrauch mit (s. oben S. 452 ff.). Hier interessirt uns die Anwendung, welche Hr. Bernstein von seinem Apparate machte, um die nun schon alt zu nennende Frage nach dem Verhalten des Muskelstromes in der Einzelschwankung endgültig zu entscheiden.[4]

---

[1] Sullo Sviluppo e la Durata delle Correnti d'Induzione ec. Estratto dal Giornale di Scienze Naturali ed Economiche. 4⁰. Palermo 1870. — Vergl. Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus u. s. w. Bd. II. Abth. II. 1874. S. 133. §. 207.

[2] Vergl. König in den Wiener Sitzungsberichten (1870. Bd. LXII. II. Abth. S. 541) über Ad. Fick's Versuche am Spiral-Rheotom (Untersuchungen über elektrische Nervenreizung. 1864. 4⁰. S. 31.)

[3] Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme. Heidelberg 1871. S. 7. 8.

[4] Um Missverständnissen vorzubeugen, bemerke ich, dass Hr. Bernstein den auf diesen Gegenstand bezüglichen Paragraphen in seinem Werk (a. a. O. S. 67) überschreibt: „Von der absoluten Grösse der negativen Schwankung im Muskel". Ebenso drückt er sich bei Behandlung derselben auf die Nerven angewandten Frage aus (a. a. O. S. 26). Ich dagegen habe diese Untersuchung überschrieben: „Von der relativen Grösse der negativen Schwankung u. s. w.", und halte dies um so

Von Hrn. Sigm. Mayer am Differential-Rheotom angestellte Versuche über die Stromschwankung am zuckenden Gastroknemius ergaben bekanntlich, indem sie Hrn. Holmgren's Beobachtungen bestätigten, dass doppelte Schwankung stattfindet, zuerst negative, dann positive.[1] An parelektronomischen Gastroknemien stellt erstere sich oft als Umkehr des in der Ruhe bestehenden Stromes dar. In der ersten Abtheilung habe ich den wahren Sinn dieser Thatsachen aufgedeckt. Sie zeigen beiläufig, wenn es solchen Beweises noch bedürfte, dass wirklich der Strom im Tetanus nicht bloss sich umkehren, sondern auch zwischen den negativen Einzelschwankun- [648] gen stärker werden könne, als in der Ruhe, ohne dass am Galvanometer etwas Anderes erscheint, als Stromabnahme.

Hr. Bernstein sah sofort, dass mit dem Gastroknemius seines verwickelten Baues wegen hier nichts auszurichten sei, und er wandte sich deshalb an regelmässige mit künstlichem Querschnitt aufliegende Muskeln, Gracilis und Sartorius. Die Zeit, während welcher der Bussolkreis bei jedem Umlauf des Rheotoms geschlossen wurde, war so gewählt, und in solchen Abstand von dem Augenblick der Reizung verlegt, dass nach früheren Ermittelungen das Maximum negativer Schwankung bevorstand. Wurde bei aufgehobener Compensation der die reizenden Schläge abblendende Schlüssel geöffnet, so musste, falls der Strom sich umkehrt, negativer Ausschlag erfolgen. Trotz wiederholten Bemühungen gelang es Hrn. Bernstein nicht, negative Ablenkung zu erhalten. In der grossen Mehrzahl der Versuche trat positive Ablenkung ein, nur viel schwächer, als wenn nicht tetanisirt wurde. In einem einzelnen Fall am Sartorius war während der negativen Schwankung die Ablenkung Null, während sie bei ruhendem Muskel $17 \cdot 5^{sc}$ betrug.[2]

Ich habe diese Versuche mit mehreren Abänderungen wiederholt, welche ich zum Theil als nicht unbedeutende Verbesserungen betrachte. Erstens habe ich mich durchweg des Gracilis bedient, der den Sartorius an Leistungsfähigkeit weit übertrifft.[3] Zweitens war der Muskel nicht, wie in Hrn. Bernstein's Versuchen, curarisirt, und ich tetanisirte ihn vom Nerven aus. Drittens leitete ich den Strom statt vom mechanischen vom

---

mehr für richtig, als Hrn. Bernstein's eigene Darlegung mit den Worten beginnt: „Es bleibt nun noch übrig, die Frage zu erledigen, wie gross die elektromotorische „Kraft der negativen Schwankung gegenüber der elektromotorischen Kraft des „Muskelstroms wachsen kann."

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 655. — S. oben S. 451. — Vergl. auch Hrn. Lamansky's Versuche in Pflüger's Archiv u. s. w. 1870. Bd. III. S. 201.

[2] A. a. O. S. 68.

[3] [Die oben S. 174 Anm. 1 erwähnte sehnige Scheidewand des Gracilis kommt bei mittelbarer Reizung nicht in Betracht (s. unten §. XXV. 3)].

thermischen Querschnitt ab, was mir den Vortheil vollkommen unverrückter Ableitung gewährte (vergl. oben S. 409). Viertens hatte ich voraus die Anwendung eines leichten aperiodischen Magnetspiegels, während Hr. Bernstein sich mit dem für diese Versuche wenig geeigneten Meissner-Meyerstein'schen Elektro-Galvanometer behalf.

[649] Bei alledem bekam auch ich keinen negativen Ausschlag zu sehen. Dagegen erschien ein solcher hin und wieder, als ich den künstlichen durch natürlichen Querschnitt ersetzte. Es hat also sein Bewenden bei meinem ursprünglichen Ergebnisse mit dem Doppelunterbrecher, mit welchem ich ja wohl auch negative Ausschläge erhalten hätte, wenn solche irgend ausgiebig vorkämen.

Jetzt ist noch eine wichtige Bemerkung zu machen. Wäre es auch gelungen, vom Muskel mit künstlichem Querschnitt bei der Zuckung negative Ausschläge zu erhalten, so folgte daraus noch nicht sicher Stromumkehr im Sinne, wie wir sie bisher uns dachten. Ich zeigte früher, dass der Muskel innerlich polarisirbar ist.[1] Danach scheint unvermeidlich, dass er durch seinen eigenen Strom sich polarisirt. Diese Polarisation durch den vom Quer- zum Längsschnitt den Muskel durchfliessenden eigenen Strom ist zwar nicht nachweisbar, weil der zeitliche Verlauf noch von mehreren anderen, viel wirksameren Umständen beeinflusst wird. Allein in den Muskelmolekeln selber und in deren nächster Nähe, um in der Sprache meiner Hypothese zu reden, könnte merkliche Polarisation stattfinden. Verschwände dann plötzlich die elektromotorische Kraft der Molekeln, oder sänke sie auch nur schnell um einen gewissen Betrag, so müsste der Muskel umgekehrt wirksam werden. Negative Wirkung des thätigen Muskels wäre also zunächst auf freiwerdende Ladungen zu deuten. Auf Umkehr des Stromes in der Einzelschwankung dürfte man ganz sicher erst schliessen, wenn die negative Schwankung die positive Wirkung während der Ruhe überträfe; denn der Polarisationsstrom kann im nämlichen Kreise nicht stärker werden als der polarisirende Strom.

Daraus scheint zu folgen, dass die negative Schwankung dessen, was man im Gegensatz zur secundären Kraft der Polarisation die primäre Muskelstromkraft nennen kann, noch nicht einmal soviel beträgt, wie die unmittelbare Beobachtung am Rheotom zeigt. Von letzterem Betrag ist, um ersteren zu [650] finden, die freigewordene Polarisation abzuziehen. Wenn in der Einzelschwankung der Strom höchstens verschwindet, so wird die primäre Kraft also noch nicht einmal Null.

Aus dem umgekehrten Grund ist die Nachwirkung bedeutender, als

---

[1] S. oben S. 192. 196—198.

die unmittelbare Beobachtung sie zeigt, denn sie verdeckt die Verstärkung des Stromes, die eine Folge davon sein muss, dass ein Theil der Ladungen frei ward.

Die jetzt sicher erkannte verhältnissmässig geringe Tiefe der Einzelschwankungen beweist, dass die Leichtigkeit, mit welcher im Vergleich zur Zuckung ohne Metalle die secundäre Zuckung erfolgt, nicht vom grösseren Betrage der Schwankung, sondern von ihrer Geschwindigkeit herrührt.[1]

Gegenüber jener geringen Tiefe erscheint die Grösse der tetanischen Gesammtschwankung um so beträchtlicher. Dies heisst soviel, wie dass das Verhältniss $\frac{R}{T}$ nur klein ist: denn aus Gleichung (5) oben S. 511 folgt, bei gegebenem $x$, $\frac{R}{T}$ um so kleiner, je grösser $B_r - B_t$. Wir können aber jetzt sogar wirklich $\frac{R}{T}$, in Verbindung mit der Dauer $\tau$ der Einzelschwankung als Bruchtheil der Secunde, numerisch auswerthen (vergl. oben S. 511). Sei 100 die Zahl der in der Secunde vom Inductorium ausgehenden Schläge, was nicht fern von der Wahrheit sein wird, so haben wir

$$\frac{R}{T} = \frac{1'' - 100\tau}{100\tau}.$$

Erfahrungsmässig ist $\frac{B_t}{B_r} = 0 \cdot 6$, $\frac{x}{I}$, nach Hrn. Bernstein, höchstens $= 1$. Setzt man diese Werthe in Gleichung (6) S. 511 ein, so erhält man $\tau = 0 \cdot 0040''$, $\frac{R}{T} = 1 \cdot 5$. Nach Hrn. Bernstein's Versuchen ist $\tau = 0 \cdot 0039''$.[2]

Natürlich ist ein so genaues Zusammentreffen mehr zufällig. Die gewählte Zahl von Schlägen (100), das Verhältniss $x = I$, sind [651] in unseren Versuchen unverbürgt. Hrn. Bernstein's Zahl für $\tau$ ist bei unmittelbarer Erregung des einen Endes curarisirter Muskeln gewonnen, und wir werden sehen, dass unter anderen Umständen die Schwankung länger dauert. Endlich die benutzte Formel kann nur für eine entfernte Annäherung gelten, da sie rechteckige Ktenoidenzähne voraussetzt und die Nachwirkung ausser Acht lässt. Immer giebt diese Betrachtung bei aller Lockerheit einen Begriff von der Ordnung und von der Art der Verknüpfung der hier in's Spiel kommenden Grössen.

---

[1] Vergl. oben S. 419. — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 95. 538.
[2] A. a. O. S. 56.

Hr. Bernstein hat seine Versuche am Rheotom auch auf die negative Schwankung des Nervenstromes ausgedehnt. Hier ist es ihm merkwürdiger Weise geglückt, Umkehr des Stromes zu beobachten, und zwar wird nach ihm der Strom unterhalb der Abscissenaxe stärker, ja nicht selten mehreremal so stark, wie oberhalb.[1] Es kann im Gebiete der Nerven- und Muskel-Elektricität nicht leicht eine wichtigere Thatsache geben, als diesen Unterschied. Ihre Bedeutung wird noch erhöht durch die soeben von uns angestellten Betrachtungen über die Rolle, welche die innere Polarisation bei der negativen Schwankung spielen kann, da, wie ich zeigte, auch die Nerven innerlich polarisirbar sind.[2] Danach würde kein Zweifel sein, dass im Tetanus wirklich Umkehr der primären Nervenstromkraft stattfindet.

Hier wäre das Elektrodynamometer an seinem Platze (s. oben S. 513). Hrn. Bernstein's Wahrnehmung entsprechend muss es bei Tetanus des Nerven positive Schwankung zeigen, wo an der Bussole negative Schwankung erscheint. So gäbe es auch ein treffliches Hülfsmittel ab, um durch Wechselströme erzeugten Elektrotonus zu untersuchen.

## §. XVIII. Graphische Darstellung des elektrischen Vorganges bei Einzelschwankungen.

Es wird nicht unnütz sein, hier jetzt sowohl die von verschiedenen Forschern der Einzelschwankung zugeschriebenen, [652] wie auch die ihr unter verschiedenen Umständen wirklich zukommenden Erscheinungsweisen in Einem Bilde zusammenzustellen.

Dies ist der Zweck der Fig. 38, deren Abschnitte (*He*) und (*vB, M*) wir schon betrachteten. Wie man sich erinnert, versinnlicht ersterer (in seiner zweiten Abtheilung) den von Hrn. Helmholtz erschlossenen Verlauf der Schwankung, letzterer erläutert bei (*) A. v. Bezold's Vorstellung von diesem Verlaufe, bei (⁑) die von Hrn. Meissner aufgestellte Lehre, welche in der Geschichte dieser Angelegenheit eine so wichtige Rolle gespielt hat. In allen Abschnitten der Figur ist, wie schon bemerkt (s. oben S. 499), derselbe Reizungspunkt *r* und dasselbe Latenzstadium (0·01″) angenommen, und die der Abscissenaxe parallele gestrichelte Gerade *uu'* bedeutet überall die ursprüngliche Stromkraft des ruhenden Muskels. Wo nicht ein bestimmter Anhalt dafür vorhanden war, ist die Schwankungsgrösse nach räumlichen Rücksichten willkürlich gewählt.

---

[1] A. a. O. S. 26 ff. S. 43.
[2] S. oben S. 192.

Der folgende Abschnitt der Figur (*Ho*), ist Hrn. Holmgren's grosser Abhandlung 'Ueber die elektrischen Stromschwankungen am arbeitenden Muskel' [1] entlehnt. In dieser Abhandlung hat Hr. Holmgren die Untersuchung über die Einzelschwankung veröffentlicht, welche er neun Jahre früher zur Prüfung der Meissner'schen Angaben in meinem Laboratorium begann, über deren Ergebniss er auch schon zweimal kurz berichtete, deren Methoden er aber noch nie beschrieb. Als seine jetzige Schrift in meine Hände gelangte, war die erste Abtheilung gegenwärtiger Abhandlung schon gedruckt. Ich hatte darin also nur jene kurzen Berichte berücksichtigen können (s. oben S. 449 ff.), und ergreife gern die hier sich bietende Gelegenheit, Hrn. Holmgren's mit so grosser Ausdauer gezeitigten Ergebnisse gebührend zu würdigen.

Zunächst hat nun also Hr. Holmgren die schönen Versuchsweisen vollständig bekannt gemacht und durch Abbildungen erläutert, womit er das elektrische Verhalten des Muskels [653] während der verschiedenen Stadien einer Einzelzuckung erforschte. Stets befand sich der Gastroknemius in meinem Froschunterbrecher. Sein Strom wurde durch die Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren der aperiodischen Bussole zugeführt und war compensirt. Um das Verhalten während des Latenzstadiums zu ermitteln, wurde der Muskel im Helmholtz'schen Sinne belastet, und solche Anordnung war getroffen, dass die Zuckung den im Augenblick der Reizung geschlossenen Bussolkreis öffnete (vergl. oben S. 449). Um die Wirkung nur während des Stadiums der steigenden oder während desjenigen der sinkenden Energie zu erhalten, wurde der Hebel des Froschunterbrechers rückwärts in eine Gabel verlängert, deren beide Zinken in senkrechter Ebene lagen. Die Zinken waren einander in senkrechter Richtung entgegengebogen und zwischen ihren Spitzen befand sich ein sehr kleiner Zwischenraum. In diesem spielte das zu einer wagerechten Platte erweiterte Ende eines Hülfshebels, der in senkrechter Ebene leicht aber mit Reibung beweglich, in jeder Lage blieb. Die Zinken der Gabel sowohl wie der Hülfshebel waren metallisch, die Zinken von einander und vom Hebel des Froschunterbrechers isolirt. So lange letzterer Hebel stieg, berührte die obere Zinke den Hülfshebel, sank dagegen der Hebel des Unterbrechers, so lag die untere Zinke dem Hülfshebel an. Man begreift, wie bei passenden Verbindungen der Muskelstrom allein während des Stadiums der steigenden Energie Zutritt zur Bussole erhielt. Um ihn auch nur während des Stadiums der sinkenden Energie zuzulassen, bedurfte es noch eines be-

[1] Om den elektriska strömfluktuationen hos den arbetande muskeln. Upsala 1873.

sonderen Kunstgriffes, der bewirkte, dass nach vollendeter Wiederausdehnung des Muskels der Bussolkreis sich wieder öffnete. Dieser Kunstgriff ist a. a. O. nachzusehen. Um endlich allein die Nachwirkung zu erhalten, wurde bei compensirtem Strom und belastetem Muskel der den Muskelstrom führende Hebel des Froschunterbrechers von der Stützplatte abgehoben, so dass der Bussolkreis offen war. Wenn nach der Zuckung der Hebel zurückfiel, schloss er den Kreis im Augenblick, wo der Muskel sich völlig wieder ausgedehnt hatte.

Hr. Holmgren unterscheidet verschiedene Formen der Schwankung, welche unter mehr oder minder bestimmten Um- [654] ständen auftreten. Als normale Schwankungsform bezeichnet er die in der Figur ausgezogene Curve $unapn_1n_2$. Sie besteht aus einem nach ihm genau mit dem Latenzstadium abschliessenden negativen Theil $una$, welchem während des Stadiums der steigenden Energie ein positiver Theil $ap$ folgt, dessen Maximum mit dem Maximum der Zuckungscurve zusammenfällt.[1] Unmittelbar darauf, aber schon innerhalb des Stadiums der sinkenden Energie, schlägt die positive Schwankung schnell in negative Nachwirkung $n_1n_2$ um.

Andere Male zeigt die Curve den in $unap_1p_2$ gestrichelten Verlauf. Die positive Schwankung hat sehr überhand genommen, und läuft in positive Nachwirkung aus. Dies kommt bei stark parelektronomischen Muskeln vor.

Endlich in noch anderen Fällen nimmt die negative Schwankung überhand und läuft auch in negative Nachwirkung aus: die Schwankung ist rein negativ geworden (s. die zum Theil punktirte Curve $unn_1n_2$). Diese Form lässt sich künstlich herbeiführen, indem man den Achillesspiegel seiner Parelektronomie beraubt, z. B. ihn mit Kreosot ätzt.[2]

Hrn. Holmgren's Figur entbehrt der Abscissenaxe. Da seine verschiedenen Schwankungsformen verschiedener Parelektronomie des Achillesspiegels entsprechen, ist die ursprüngliche Stromkraft dabei verschieden zu denken, am grössten für die rein negative, mittelgross für die normale, am kleinsten für die Schwankungsform mit vorwiegendem positiven

---

[1] Um dies in unserer Figur deutlicher hervortreten zu lassen, habe ich die Verhältnisse der Abscissen in Hrn. Holmgren's Figur etwas geändert, nämlich sie denen der primären Zuckungscurve in Hrn. Helmholtz's Myogramm angepasst. Hier erscheint allerdings das Latenzstadium ungewöhnlich lang, dies kam mir aber aus leicht ersichtlichen Gründen bei sämmtlichen Abschnitten der Fig. 38 sehr zu statten. — Beim Vergleichen von Hrn. Holmgren's Curven mit den übrigen Curven der Fig. 38 ist zu bedenken, dass seine wie unsere Ordinaten willkürlich gewählt und ihrer absoluten Grösse nach also nicht vergleichbar sind.

[2] Anf. St. B. 100—102.

Curvenabschnitt. Im letzten Falle würden Abscissenaxe und negativer Curvenabschnitt sogar sich schneiden können, jedoch ohne dass dies [655] Stromumkehr im Sinne bedeutete, in welchem die vorigen Paragraphen davon handelten. Verschiedener Parelektronomie des Achillesspiegels entspräche aber auch verschiedene absolute Grösse der negativen Schwankung, der geringsten Parelektronomie die grösste, der grössten die kleinste Schwankung. Wegen der hieraus entspringenden Verwickelung zog ich vor, an Hrn. Holmgren's Figur nichts weiter zu ändern, anstatt sie, was sonst leicht gewesen wäre, mit den zu seinen drei Schwankungscurven gehörigen drei Abscissenaxen zu versehen.

Ehe wir Hrn. Holmgren's Ergebnisse weiter betrachten, wird es gut sein, von den übrigen Abschnitten der Fig. 38 Kenntniss zu nehmen. Auf Hrn. Holmgren folgt Hr. Sigmund Mayer (*SM*). Die Curve ist nach seinen Messungen am Differential-Rheotom (s. oben S. 451) von mir entworfen. Die Zahlen längs der Curve bedeuten Tausendtel der Secunde. Das Umschlagen der negativen in positive Schwankung trifft noch in das zu $0 \cdot 01''$ angenommene Latenzstadium, während Hr. Holmgren es genau mit dessen Ende zusammenfallen lässt. Die positive Schwankung ist nach Hrn. Sigmund Mayer gewöhnlich kleiner als die negative; sie tritt um so mehr zurück, je weniger parelektronomisch die Muskeln sind. Auch in dieser Figur habe ich der Einfachheit halber unterlassen, den verschiedenen Zuständen des Muskels entsprechende Abscissenaxen zu ziehen.

Die bisher besprochenen Schwankungscurven beziehen sich auf den Froschgastroknemius. Bis zu Hrn. Sigmund Mayer glaubten sämmtliche Forscher, die an dieser Untersuchung sich betheiligten, dass sie in der Schwankung des Gastroknemiusstromes die des Muskelstromes überhaupt studirten. Erst Hr. Bernstein, unter dessen Leitung Hr. Sigmund Mayer arbeitete, erkannte, wie gesagt (s. oben S. 515), dass am Gastroknemius, seines Baues wegen, besondere Umstände obwalten, was ich freilich längst wusste. Die Natur der stattfindenden Verwickelung zu durchschauen, war er nicht in der Lage. Dazu gehörte die auf jahrelangen, besonders darauf gerichteten Arbeiten fussende Reihe von Ermittelungen, welche die erste Abtheilung dieser Abhandlung ausmacht. Von allen [656] anderen Forschern zuerst begriff aber Hr. Bernstein die Nothwendigkeit, hier an regelmässige Muskeln, wie Sartorius und Gracilis sich zu wenden.[1] Der Abschnitt (*Be*, *dBR*) unserer Figur zeigt nunmehr in der ausgezogenen Curve die Schwankung solches mit künstlichem Querschnitt aufliegenden Muskels. Von der doppelsinnigen Schwankung des Gastroknemius ist

[1] A. a. O. S. 50. 51.

darin nichts zu sehen. Es ist einfach eine schnell entstehende, und auch, wenn gleich minder, schnell von ihrer Höhe wieder abfallende negative Schwankung da, deren Maximum in das Latenzstadium fällt, und welche in sehr verminderter Grösse und mit geringer Steilheit in das Stadium der steigenden Energie reicht, unstreitig um sich weiterhin der Geraden *uu'* asymptotisch anzuschliessen. Das Maximum der Schwankung erreicht höchstens die Abscissenaxe *rt*. Dies also ist der ungetrübte und wahre Verlauf der negativen Schwankung des Muskelstromes bei Einzelzuckung (vgl. oben S. 463).

Man sieht jetzt beiläufig, dass die von Hrn. Helmholtz erschlossene Schwankungscurve im Abschnitt (*He II*) der Fig. 38 ganz richtig war. Hr. Helmholtz experimentirte am querdurchschnittenen Gastroknemius, dessen Schwankungscurve im Allgemeinen nicht weit von der eines querdurchschnittenen regelmässigen Muskels abweichen kann, da die vom Kniespiegel ausgehende positive Schwankung vor der negativen Schwankung des unteren senkrechten künstlichen Querschnittes verschwindet.

Nun wäre noch die wahre Schwankungscurve des Stromes bei natürlichem Querschnitt zu entwerfen. Von der Art, wie diese zu Stande kommt, nämlich von der Rolle, welche die negative Kraft der parelektronomischen Strecke dabei spielt, wird in der dritten Abtheilung dieser Abhandlung die Rede sein. Erfahrung lehrt, dass am natürlichen Ende regelmässiger Muskeln die Einzelschwankung gleichfalls als einfache negative Schwankung erscheint, jedoch mit dem Unterschied, dass sie absolut genommen kleiner, relativ dagegen grösser ausfällt, als bei künstlichem Querschnitt. Bei sehr schwachem ursprünglichen Strome kann daher der Strom umgekehrt werden, bei [657] ganz mangelndem entsteht ein negativer Ausschlag, bei ursprünglich verkehrtem Strome stellt die Schwankung sich als relativ positive Schwankung dar. Die Curve des Abschnittes (*Bc*, *dBR*) der Fig. 38 wird also zur Schwankungscurve des regelmässigen Muskels mit natürlichem, mässig parelektronomischem, d. h. noch merklich negativem Querschnitt, wenn wir die Abscissenaxe *rt* etwa nach $\varrho\tau$ verlegen, und, wie es in der punktirten Curve geschehen ist, die Ordinaten der Curve, jedoch nicht genau proportional, verkleinern. Wahrscheinlich unterscheiden sich die Einzelschwankungen bei künstlichem und natürlichem Querschnitt, gleich den entsprechenden tetanischen Gesammtschwankungen, noch anders als durch ihre absolute und relative Grösse (vergl. unten S. 527. 528).

Es verdient bemerkt zu werden, dass kürzlich die Hrn. Bernstein und Steiner dieselbe einfache Schwankungscurve, wie an regelmässigen Froschmuskeln, auch zwischen Längsschnitt und künstlichem Querschnitt regelmässiger Säugethier- (Hunde- und Kaninchen-) Muskeln beobachteten,

während von beiden Enden abgeleitete unregelmässige Muskeln gleich dem Froschgastroknemius eine aus einem negativen und einem positiven Abschnitt bestehende Schwankungscurve gaben.[1] Letzteres ist um so weniger zu verwundern, als auch regelmässige von beiden Enden abgeleitete Froschmuskeln am Rheotom mir Aehnliches zeigten (s. oben S. 461 Anm. 1).

Jetzt schreiten wir zur näheren Betrachtung der Holmgren'schen Aufstellungen. Schon in seiner vorläufigen Mittheilung bemerkte Hr. Holmgren, dass das Erscheinen der positiven Schwankung in gewisser Beziehung zur Parelektronomie zu stehen scheine.[2] Vier Jahre später sprach Hr. Sigmund Mayer bestimmt aus, dass an parelektronomischen Muskeln der positive Schwankungsabschnitt stärker entwickelt zu sein pflegt, als der negative (s. oben S. 456—458); Hr. Holmgren selber aber hatte noch vor Erscheinen der ersten Abtheilung dieser Abhandlung durch Benetzen des Achillesspiegels mit Kreosot die negative Schwankung auf [658] Kosten der positiven willkürlich vergrössert (s. oben S. 520). Durch die in jener ersten Abtheilung mitgetheilten Untersuchungen sind diese Beobachtungen bestätigt, erweitert und soweit aufgeklärt, dass, wenn auch noch Manches dunkel bleibt, an der Richtigkeit der dort gegebenen Theorie im Allgemeinen nicht zu zweifeln ist. Die positive Schwankung des Gastroknemius ist nur negative Schwankung des Kniespiegelstromes; denn handle es sich um Einzelzuckung oder Tetanus, alle Umstände, welche das Hervortreten des Kniespiegelstromes begünstigen oder hindern, verstärken oder schwächen beziehlich die positive Schwankung im Vergleich zur negativen, wie umgekehrt alle Umstände, welche das Hervortreten des Achillesspiegelstromes begünstigen oder hindern, die negative Schwankung im Vergleich zur positiven beziehlich verstärken oder schwächen.

Nimmt man das Latenzstadium zu 0·01—0·02″ an, wie es bei Einzelschwankungen am Myographion oder am Pouillet'schen Chronoskop gefunden wird, so fällt nach Hrn. Sigmund Mayer's Messungen noch ein grosser Theil der positiven Schwankung in jenes Stadium. In diesem Sinne bezeichnete ich in der ersten Abtheilung (S. 452) Hrn. Holmgren's Angabe als irrig, wonach die negative Schwankung genau mit dem Latenzstadium abschneiden, die positive genau mit dem Stadium steigender Energie beginnen und mit deren Maximum das ihrige erreichen soll. Hr. Holmgren seinerseits hat in seiner neueren grossen Abhandlung 'Om den elektriska strömfluktuationem o. s. v.' diese Angaben gegen die des Hrn. Sigmund Mayer mit voller Bestimmtheit aufrecht

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1875. S. 536 ff.

[2] Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1864. S. 293.

erhalten. Er legt Werth darauf, weil er im Gastroknemius das allgemeine Paradigma eines Muskels vor sich zu haben glaubt, und die negative und positive Schwankung für folgweise den ganzen Muskel ergreifende Veränderungen hält, welche jenen Stadien wesentlich angehören. Natürlich wäre dies von grösster Bedeutung. Die Untersuchungen der ersten Abtheilung beweisen aber, dass, auch wenn die Thatsache des genauen Zusammenfallens richtig, diese Auffassung falsch, und das genaue Zusammenfallen nur zufälliger Anschein wäre. Die negative Schwankung geht aus vom Achilles-, die positive vom Kniespiegel; aus unbekanntem Grund über- [659] wiegt zuerst jene, dann diese. Der Augenblick, wo beide Schwankungen gleich sind, und die resultirende Schwankung das Zeichen wechselt, hat daher keine wesentliche Bedeutung. Es fehlt an jedem Grunde dafür, dass die Kniespiegelschwankung gerade im Augenblick siegen sollte, wo in der Nähe der motorischen Endplatten Verkürzung beginnt. Dass beim Hervortreten der positiven Schwankung es sich nur um deren Sieg handelt, und dass nicht etwa in jenem Augenblick die negative Schwankung endet, erhellt daraus, dass, wenn man durch Anätzen des Achillesspiegels letztere verstärkt, sie das Latenzstadium weit überdauert, ja bis in das Stadium der sinkenden Energie reicht.

Umgekehrt wird die Schwankung rein positiv, wenn man den Gastroknemius mit Thon umhüllt, weil der Kniespiegelstrom unter Nebenschliessung weniger leidet, als der Achillesspiegelstrom: ein besonders schlagender Versuch, insofern durch blosse Aenderung der Ableitung die Schwankungen selber in keiner Weise verändert werden. Bei mechanischer und chemischer Zerstörung der parelektronomischen Schicht am Kniespiegel bleibt negative Schwankung zurück, allein diese Arten, den Kniespiegel seiner Parelektronomie zu berauben, sind so unvollkommen, dass man froh sein muss, wenn überhaupt dadurch die positive Schwankung verstärkt wird. Das auch natürlich vorkommende Uebergreifen der negativen Schwankung in das nach Hrn. Holmgren wesentlich mit positiver Schwankung einherschreitende Stadium steigender Energie, das der positiven Schwankung in das nach ihm nicht minder wesentlich mit negativer Schwankung verknüpfte Latenzstadium, erscheint bei seiner Auffassung ganz unverständlich.

Es ist Hrn. Holmgren zuzugeben, dass die Behauptung, die positive Schwankung falle zum Theil in das Latenzstadium, unmittelbarer, thatsächlicher Begründung insofern entbehrt, als das Differential-Rheotom selber über die Dauer jenes Stadiums nichts aussagt; dass letzteres nur nach anderen Erfahrungen zu 0·01—0·02″ angenommen wird; und dass nicht gewiss ist, diese Dauer sei beim Tetanisiren dieselbe wie bei

Einzelzuckungen. Hr. Holmgren meint, sie nehme dabei ab. Sie [660] wächst aber mit der Ermüdung, woraus zu folgen scheint, dass sie im Laufe des Tetanus grösser werden müsse, als bei Einzelzuckungen eines frischen Muskels. In unseren Versuchen am Rheotom wurde der Muskel 9 bis höchstens 15 Mal in der Secunde gereizt. Die Latenzstadien der einzelnen Zuckungen sind also noch weit davon entfernt, in einander überzugreifen, vielmehr bleibt reichlich Raum für sie, um vollständig abzulaufen, ja sich auszudehnen, und man sieht nicht ein, wie es den Verlauf der Zuckung abkürzen könne, dass eine neue Zuckung ihr folgt, so lange der ersten Zuckung noch Zeit bleibt für Abwickelung ihrer wesentlichen Stadien. Sie weiss doch, so zu sagen, nicht, was nachkommt. Es müsste erst bewiesen werden, dass das Latenzstadium kürzer ausfällt, wenn es in das Stadium sinkender Energie einer vorhergehenden Zuckung fällt. Bei der genau studirten Doppelreizung, wo sich dies am ehesten kundgeben müsste, zeigt sich davon bekanntlich nichts. Das Latenzstadium der zweiten Zuckung verläuft wie das der ersten, sogar wenn es zum Theil mit diesem zusammenfällt, so lange zwischen beiden Reizungen $^1/_{600}$'' bleibt.[1]

Wenn nun aber das Rheotom nicht vermag, die einzelnen Zuckungsstadien abzugrenzen, so vermag umgekehrt Hrn. Holmgren's Versuchsweise in ihrem gegenwärtigen Zustande nicht, auszumachen, was in einzelnen Abschnitten eines der drei Stadien vor sich geht. Soviel ich sehe, kann sie nur die Summe dessen wahrnehmen, was während eines ganzen Stadiums geschieht.

Unsere Magnetspiegel sind beweglich genug, um die Doppelsinnigkeit der ganzen Gastroknemiusschwankung anzuzeigen, und es war einer der grossen Fortschritte, die Hr. Holmgren über Hrn. Meissner hinaus machte, dass er Spiegel von hinreichender Beweglichkeit anwandte, um diese Doppelsinnigkeit erkennen zu lassen. Allein gegenüber der im Latenzstadium selber noch steckenden Doppelsinnigkeit verhält sich der leichteste Magnetspiegel (wie ich vermuthe, sogar ein Thomson- [661] scher[2]) wie gegenüber der Gesammtschwankung der wuchtige Magnet des Meissner'schen Elektro-Galvanometers. Hr. Holmgren konnte also gar nicht entscheiden, ob ein Theil der positiven Schwankung noch dem Latenzstadium angehört oder nicht. Wenn während des Latenzstadiums die Summe der vom Muskel auf den Bussolspiegel ausgeübten Wirkungen

---

[1] Helmholtz in den Monatsberichten der Akademie u. s. w. 1854. S. 331. — Vergl. über Summation der Reize Hrn. Bernstein in seinen Untersuchungen u. s. w. S. 97.

[2] Vergl. oben Bd. I. S. 366.

stets negativ ist, so folgt daraus nicht, dass negative Schwankung so lange anhält, wie die Reizung latent bleibt. Es folgt daraus nur, dass die algebraische Summe der während des Latenzstadiums etwa stattfindenden positiven und negativen Wirkungen stets negativ ist. Hierin aber liegt kein Widerspruch mit der Aussage des Rheotoms. Bei einer Dauer des Latenzstadiums von 0·01″ würde noch etwa die Hälfte der positiven Schwankung in dies Stadium fallen. Dass der Unterschied der ganzen negativen Schwankung und eines nicht die volle Hälfte betragenden Theiles der positiven Schwankung gewöhnlich negativ ist, erscheint um so mehr in der Ordnung, als das positive Maximum gewöhnlich unter dem negativen bleibt (s. oben S. 521).

Aus demselben Grunde, aus dem Hrn. Holmgren's Versuchsweise nicht anzeigt, ob die negative Schwankung während des Latenzstadiums einen positiven Antheil birgt, vermöchte diese Versuchsweise auch nicht, wie man beim ersten Anblick glauben könnte, das Rheotom in der Frage nach der Stromumkehr bei der Zuckung zu ersetzen. Indem sie die elektrische Wirkung während des Latenzstadiums ausschneidet, leistet sie zwar, was dem Froschhammer, mit dem sie sonst eine gewisse Verwandtschaft hat, nothwendig versagt blieb, weil dieser vor der Entdeckung entstand, dass die Schwankung der Zuckung voraufgeht. Allein auch wenn man Hrn. Holmgren's Versuchsweise mit regelmässigen, von natürlichem Längs- und thermischem Querschnitt abgeleiteten Muskeln in's Werk setzte, dürfte man aus der bei nicht compensirtem Strome während des Latenzstadiums erfolgenden positiven Wirkung nicht schliessen, dass der Strom sich nicht umkehre, denn er könnte es während [662] eines Bruchtheiles jenes Stadiums thun, ohne dass die Gesammtwirkung positiv zu sein aufhörte.

Uebrigens liesse sich Hrn. Holmgren's Versuchsweise leicht so abändern, dass sie, wenn auch nicht zur erschöpfenden Zergliederung des elektrischen Vorganges während des Latenzstadiums, wie die Frage nach Stromumkehr bei der Zuckung sie erheischt, doch zur Entscheidung geschickt würde, ob ein Theil der positiven Schwankung am Gastroknemius noch in jenes Stadium fällt oder nicht. Dazu ist nur nöthig, den Bussolkreis erst eine gewisse kleine Zeit nach der Reizung zu schliessen. Diese Zeit, ursprünglich viel kleiner als die Dauer des Latenzstadiums, müsste man bis zu dieser Dauer schrittweise um kleine Grössen verlängern können. Hat Hr. Holmgren Recht mit seiner Behauptung negativer Schwankung während des ganzen Latenzstadiums, so erhielte man dann stets noch negative Wirkung. Hat Hr. Sigmund Mayer Recht, so würde erst negative Wirkung, von einem gewissen Punkt da-

gegen, an stark parelektronomischen Muskeln und bei hinreichend empfindlicher Bussole, positive Wirkung erfolgen.

Träfe dies nicht ein, und bliebe die Schwankung während des Latenzstadiums stets negativ, so wäre indess nur bewiesen, dass Hr. HOLMGREN mit seiner thatsächlichen Behauptung im Rechte war, und dass wahrscheinlich am Rheotom das Latenzstadium kürzer ausfällt, als bei Einzelzuckungen. Bewiesen wäre nicht, dass Hrn. HOLMGREN's theoretische Auffassung der Erscheinungen am Gastroknemius richtig, die meinige falsch sei. Alle Gründe dafür, dass das Zusammenfallen des Punktes, wo die positive Schwankung über die negative siegt, mit dem Beginne der Verkürzung zufälliger Anschein sei, blieben in gleicher Stärke bestehen.

Die wahre hier zu lösende Aufgabe ist Feststellung des Verlaufes der Achilles- und der Kniespiegelschwankung und des Grundes, weshalb sie nicht zeitlich zusammenfallen, und, wie man erwarten sollte, abgesehen von der Nebenschliessung durch die Muskelmasse, einander aufheben.

Man könnte annehmen, dass beide Schwankungen gleichen Verlauf haben; dann muss man sich denken, dass die [663] negative früher beginnt als die positive. Dies heisst soviel, wie dass die Zuckungswelle am Kniespiegel später anlangt, als am Achillesspiegel, und zwar um etwa 0·005″, als den Zeitraum zwischen beiden Maximis. Einen Grund dafür anzugeben ist unmöglich. In 0·005″ durchläuft nach Hrn. BERNSTEIN die Schwankung $\frac{1}{200} \cdot \frac{3500^{mm}}{1''} = 17 \cdot 5^{mm}$,[1] während die mittlere Länge der Gastroknemiusfasern an einem Muskel mittlerer Grösse (von 35$^{mm}$ Länge) nur etwa 7·5$^{mm}$ beträgt.[2] Es ist also nicht daran zu denken, was im ersten Augenblick annehmbar scheint, den späteren Eintritt der Kniespiegelschwankung davon abzuleiten, dass die motorischen Endplatten vielleicht dem Achillesspiegelende der Fasern näher liegen, als dem Kniespiegelende; um so weniger, als sie nach Hrn. KÜHNE am Gastroknemius in der Mitte der Faser liegen.[3]

Man kann nun aber auch annehmen, dass beide Schwankungen gleichzeitig anheben, jedoch verschieden verlaufen. Die negative Schwankung müsste schneller ansteigen und auch wieder abfallen, als die posi-

---

[1] Untersuchungen über den Erregungsvorgang u. s. w. S. 56.

[2] Vergl. oben S. 71.

[3] Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven. Leipzig 1862. 4⁰. S. 22.

tive. Hierfür liesse sich allenfalls ein Grund angeben. In der ersten Abtheilung fanden wir, dass bei künstlichem Querschnitt die negative Schwankung im Tetanus schnell ihr Maximum erreicht, aber keinen Augenblick darauf verweilt, sondern alsbald, wenn auch langsamer, wieder abfällt. Bei natürlichem Querschnitt dagegen nähert sich die tetanische Schwankung zögernd einem absolut geringeren Maximum, verweilt länger in dessen Nähe und sinkt viel langsamer davon herab (s. oben S. 424). Da nun der Achillesspiegel mehr Angriffen auf seine Parelektronomie ausgesetzt ist, als der im Inneren des Muskels verborgene Kniespiegel, so wäre denkbar, dass deshalb die Schwankung des Achillesspiegelstromes mehr der negativen Schwankung bei künstlichem, die des Kniespiegelstromes mehr der bei natürlichem Querschnitt ihrem Verlaufe nach gliche.

[664] Der letzte Abschnitt der Fig. 38 (*dBR*) ist zu zeigen bestimmt, dass diese Vermuthung rein formell die Erscheinungen erklärt. Die gestrichelte Curve ist die negative Achilles-, die punktirte die positive Kniespiegelschwankung, die ausgezogene Curve die aus algebraischer Summation der Ordinaten beider ersteren Curven entspringende resultirende Schwankung, welche, wie man sieht, Hrn. Sigmund Mayer's Curve genau wiedergiebt.

Wie man sich erinnert, haben wir durch ähnliche Annahmen schon die doppelsinnigen Wirkungen beim Tetanisiren des Gastroknemius formell zu erklären versucht (s. oben S. 438. 462). Es hinterblieben aber dort Schwierigkeiten, und ebenso ist es hier. Ich will auf deren Darlegung im Einzelnen nicht eingehen, sondern spreche lieber kurz aus, dass es im gegenwärtigen Zustand unserer Kenntniss nicht gelingt, von diesen verwickelten Erscheinungen völlig befriedigende Rechenschaft zu geben. Dazu bedarf es noch langwieriger und mühsamer Untersuchungen, und zwar werden diese sich nicht auf den Gastroknemius beschränken dürfen, sondern ausser auf den Triceps femoris müssen sie sich auch auf regelmässige, von beiden Enden abgeleitete Muskeln in verschiedenen Zuständen ihrer Enden erstrecken.

Hrn. Holmgren's Curven geben noch zu einigen anderen Bemerkungen Anlass. Er lässt die negative Schwankung im Augenblick der Reizung beginnen und in der Mitte des Latenzstadiums ihr Maximum erreichen. Im Falle rein negativer Schwankung sinkt von hier die Curve mit verhältnissmässig geringerer Steilheit bis jenseit des Endes der Zuckung. Da dieser Verlauf der geringsten Parelektronomie des Achillesspiegels entspricht, so kann er, wie wir schon sahen, nicht sehr verschieden sein von dem, welcher in Hrn. Helmholtz' Versuch stattfand. Nach diesem Versuch hat aber die Curve ihre grösste Steilheit etwa in

der Mitte des Latenzstadiums, während Hr. Holmgren die grösste Steilheit weiter zurück nach dem Reizungspunkte verlegt, mit welchem Recht, ist mir nicht deutlich geworden.[1] Bei Hrn. Holmgren's Schwankungsform mit über- [665] wiegendem positiven Curvenabschnitt müsste die secundäre Zuckung eine Doppelzuckung sein, und dasselbe folgt aus Hrn. Sigmund Mayer's Curve. Weitere Untersuchungen haben zu lehren, ob dies wirklich sich beobachten lässt, und ob bei Hrn. Holmgren's normaler Schwankungsform noch eine dritte secundäre Zuckung dem Maximum der primären Zuckung folgt, wie es nach seiner Figur der Fall sein müsste.

Auch was den ferneren Verlauf der Schwankung betrifft, gehen Hrn. Holmgren's Ergebnisse und die am Rheotom erhaltenen auseinander, wie ein Blick auf Fig. 38 zeigt. Hr. Holmgren lässt die Schwankung bis an's Ende der Zuckung und als Nachwirkung darüber hinaus sich erstrecken. Er sah 1. bei überwiegendem positiven Schwankungsabschnitt positive Nachwirkung; 2. bei ganz negativer Schwankung negative Nachwirkung; 3. bei mittelstarker positiver Schwankung (seiner normalen Schwankungsform) gleichfalls negative Nachwirkung. Letztere Erscheinungsweise schilderte Hr. Holmgren schon in seiner vorläufigen Mittheilung.

In den bisherigen Versuchen am Rheotom stellte sich die Schwankung viel kürzer dar. An regelmässigen, von Längs- und künstlichem Querschnitt abgeleiteten Froschmuskeln, die curarisirt waren und am einen Ende unmittelbar gereizt wurden, fand Hr. Bernstein die Schwankungsdauer im Mittel nur zu 0·0039″ (s. oben S. 517). Noch kürzere Schwankungsdauer wurde neulich von ihm und Hrn. Steiner an regelmässigen Muskeln curarisirter Säugethiere verzeichnet (s. oben S. 522. 523). Hr. Sigmund Mayer lässt die positive Schwankung am Froschgastroknemius 0·017″ nach der Reizung enden (s. oben S. 451. 521). Ich selber muss bekennen, bei den [666] meisten meiner Rheotom-Versuche diesen Punkt nicht beachtet zu haben, da es mir auf andere Dinge ankam, welche meine wie des Präparates Leistungsfähigkeit vollauf in Anspruch nahmen (s. oben S. 456). Doch finde ich in meinen Versuchsprotokollen gelegent-

[1] Auch Hrn. Holmgren's graphische Darstellung der Meissner'schen Lehre auf S. 8 seiner Schrift halte ich in dieser Beziehung für minder richtig als die in Fig. 38 von mir gegebene. Noch ist gegen jene Darstellung einzuwenden, dass Hr. Meissner nur nach einer „eine merkliche Zeit anhaltenden Compression des Muskels“ durch die Zusammenziehung, nicht also bei Einzelzuckung, negative Schwankung annahm (Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift u. s. w. 3. R. Bd. XV. S. 54; — vergl. oben S. 503. 518).

lich noch nach 0·03″ Spuren von Schwankung des Stromes zwischen Aequator und sehnigem Ende regelmässiger Muskeln verzeichnet. Dies will aber immer noch nichts sagen neben der von Hrn. Holmgren der Schwankung zugeschriebenen Dauer, die nach den gewöhnlichen Erfahrungen am Myographion kaum zu weniger als zu 0·15″, also zum Fünffachen der von mir wahrgenommenen Dauer, zu veranschlagen ist.

Mit Hrn. Holmgren's Angabe scheint dagegen unsere Erfahrung am Froschhammer eher zu stimmen. Hier erhielten wir um so stärkere Abnahme des Stromes, je länger bis zu einer gewissen Grenze der Bussolkreis nach Anfang der Zuckung geschlossen blieb (s. oben S. 495. 496). Dies wäre nicht der Fall gewesen, wenn die Schwankung das Latenzstadium so wenig überdauerte, wie nach Hrn. Bernstein's, Hrn. Sigmund Mayer's und meinen eigenen Beobachtungen am Rheotom.

Auch hierüber sind weitere Untersuchungen nöthig. Einstweilen denke ich mir die Sache so. Die Versuche, in denen curarisirte Muskeln unmittelbar gereizt wurden, lasse ich beiseite, als möglicherweise der Natur der Sache nach unvergleichbar mit den an unvergifteten, mittelbar gereizten Muskeln angestellten Versuchen. Dass in sonst strenge vergleichbaren Versuchen, wie denen am Gastroknemius, das Rheotom die Schwankung kürzer angab, als die Holmgren'sche Versuchsweise, schreibe ich nicht dem Umstande zu, dass dort unvollkommen tetanisirt, hier Einzelzuckung beobachtet wurde. Denn, wie schon bemerkt (s. oben S. 525), die Reizungen folgen am Rheotom einander nicht so schnell, dass nicht jede Schwankung Zeit hätte, fast vollständig abzulaufen, und der Verlauf einer Schwankung kann nicht dadurch abgekürzt werden, dass ihr eine andere in grösserem Abstande folgt, als ihre natürliche Dauer beträgt. Sondern das Wahrscheinlichste ist, dass am Rheotom das Ende der Schwankung einfach wegen Schwäche der Wirkung sich [667] der Beobachtung entzog. Diese Vermuthung ist in der Figur dadurch ausgedrückt, dass die Curven die Gerade $uu'$ nicht erreichen.

Schon bei Besprechung von Hrn. Holmgren's Versuchen in der ersten Abtheilung hob ich hervor, dass es weder Hrn. Sigmund Mayer noch mir begegnete, der positiven Schwankung am Gastroknemius eine zweite negative Schwankung folgen zu sehen, und ich fügte hinzu, dass Hrn. Holmgren's Beobachtung um so räthselhafter erscheine, je geringer am Rheotom die Nachwirkung sich uns darbot (s. oben S. 452. 463). Diese Bemerkung war nicht gehörig überlegt. Allerdings vermisst man meist am Rheotom, nachdem der Gastroknemius während einiger Secunden 9—15 Reizungen in der Secunde erhielt, die grosse und nachhal-

tige Schwächung seines Stromes, die beim gewöhnlichen Tetanisiren nie ausbleibt. Dennoch kann, soweit die Zeit es erlaubt, jeder Einzelzuckung, aus der sich der kaum vollkommen zu nennende Tetanus am Rheotom zusammensetzt, flüchtige Nachwirkung folgen, und zwischen dem Wahrnehmen solcher Nachwirkung nach Einzelzuckungen und dem Vermissen anhaltender Nachwirkung nach unvollkommenem Tetanus besteht in Wahrheit kein Widerspruch.

---

XXVII.

# Ueber die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung.

## Dritte Abtheilung.[1]

### Ueber die Rolle der parelektronomischen Strecke bei der negativen Schwankung, die beiden Arten der Nachwirkung, und die Entstehung der Parelektronomie. Widerlegung der Hermann'schen Theorie der negativen Schwankung.

### §. XIX. Ueber die Betheiligung der parelektronomischen Strecke an der negativen Schwankung.

Am Multiplicator und mit polarisirbaren Elektroden, also ohne Möglichkeit einer Messung, hatte ich den Eindruck erhalten, als sei die negative Schwankung gleich gross, von wo sie auch ausgehe, d. h. gleichviel ob die Wirkung des ruhenden Muskels positiv, Null, oder negativ sei, oder gleichviel ob es um künstlichen oder um natürlichen Querschnitt in beliebigem Zustand des letzteren sich handele. Die Kraft der parelektronomischen Schicht schien bei der negativen Schwankung dieselbe Rolle zu spielen, wie die eines beständigen, dem Strome des ruhenden Muskels entgegenwirkenden Stromes. Daraus schloss ich, dass die Kraft der parelektronomischen Schicht bei der Zusammenziehung beständig bleibe, und dass diese Schicht also nicht theilnehme am Molecularmechanismus der Zusammenziehung.[2]

[124] In dieser Folgerung lag damals keine besondere Unwahrscheinlichkeit, weil ich zugleich bewies, dass eine Schicht von verschwindender Dicke genüge, um die Parelektronomie zu erklären. Später zeigte sich

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1876. S. 123.

[2] Monatsberichte der Akademie. 1851. S. 396; — Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre u. s. w. 1857. Bd. II. S. 155; — Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. II. Abth. II. S. 145 ff. — Vergl. oben S. 417. 426.

an regelmässigen Muskeln, wo die Faserenden mehr der Untersuchung zugänglich sind, dass es nicht richtig ist, von einer unmessbar dünnen parelektronomischen Schicht zu reden, sondern dass es dort eine parelektronomische Strecke giebt, deren Länge mehrere Millimeter beträgt (s. oben S. 166. 167).

Es wäre nun wohl nicht unmöglich, sich vorzustellen, dass negative Kräfte von einer parelektronomischen Strecke ausgingen, welche wie jeder andere Theil des Muskels sich zusammenzöge, und dass gleichwohl jene negativen Kräfte beständig blieben. Einzelne zwischen den peripolaren Gruppen vertheilte, säulenartig ihre Wirkung summirende dipolare Molekeln, welche an dem Molecularmechanismus der Zusammenziehung sich nicht betheiligten, würden dies leisten. Allein nach den neuen, in der ersten Abtheilung aufgedeckten Thatsachen wird die Schlussfolge überhaupt hinfällig, welche dazu geführt hatte, die Nichtbetheiligung der parelektronomischen Schicht an jenem Mechanismus anzunehmen. Zu dieser Vorstellung wäre ich nie gekommen, hätte ich schon damals gewusst, dass Zerstörung der parelektronomischen Schicht die negative Schwankung absolut vergrössert (s. oben S. 425).

Bis auf Weiteres ist jetzt vielmehr zu schliessen, dass die negative Kraft der parelektronomischen Strecke an der Schwankung theilnehme, jedoch in geringerem Maass als die positive Kraft des Gesammtmuskels. Ich sage des Gesammtmuskels, um die Möglichkeit einzubegreifen, dass auch in der parelektronomischen Strecke positiv wirkende Elemente enthalten sind, welche in gleichem Maasse, wie der übrige Muskel, an der Schwankung sich betheiligen.

Um hier sicher zu gehen, verfahren wir folgendermaassen.

Der in der Ruhe stattfindende Spannungsunterschied zweier passend gewählten Punkte der Muskeloberfläche, etwa eines Aequatorpunktes und eines Poles, bei fortgedachter negativer [125] Kraft der parelektronomischen Strecke, heisse $M$; der Spannungsunterschied derselben Punkte, wenn umgekehrt nur die negative Wirksamkeit der parelektronomischen Strecke in's Auge gefasst wird, heisse $P$. In Wirklichkeit ist also der Spannungsunterschied beider Punkte in der Ruhe

$$U_\varrho = M - P.$$

$P$ kann $> M$ werden, wo dann der Muskel negativ wirkt. Darüber, um wieviel $P > M$ werden könne, fehlt es noch an Bestimmungen. Soll ich eine Schätzung aussprechen, so würde ich sagen, dass keinenfalls $P > 1 \cdot 5\, M$ gefunden werde.

Mit $aM$ bezeichnen wir ferner den Spannungsunterschied derselben Punkte im Tetanus, abgesehen von der negativen Kraft der parelektro-

nomischen Strecke, d. h. $aM$ ist die mittlere Crdinate der Ktenoide, welche den zeitlichen Verlauf der positiven Kraft des Muskels im Tetanus vorstellt, wenn nur diese Kraft in's Auge gefasst wird. Der Werth von $a$ liegt erfahrungsmässig (s. oben S. 413) zwischen 0·6 und der Einheit. Ebenso bezeichnen wir mit $\alpha P$ den Spannungsunterschied derselben Punkte im Tetanus wegen der negativen Kraft der parelektronomischen Strecke allein, d. h. $\alpha P$ ist die mittlere Ordinate der Ktenoide, welche den zeitlichen Verlauf der Kraft im Tetanus vorstellt, wenn nur die negative Kraft der parelektronomischen Schicht in's Auge gefasst wird. Der wirkliche Spannungsunterschied im Tetanus ist dann

$$U_\tau = aM - \alpha P;$$

die negative Kraftschwankung wird gemessen durch

$$U_\varrho - U_\tau = (1-a)M - (1-\alpha)P.$$

Es handelt sich darum, $\alpha$ so bestimmen, dass 1. die Schwankung stets absolut negativ sei; 2. sie bei natürlichem Querschnitt absolut kleiner ausfalle, als bei künstlichem; 3. sie im Verhältniss zum Strom in der Ruhe dort grösser ausfalle als hier. Analytisch gestalten diese Bedingungen sich so, dass 1. $U_\varrho - U_\tau$ stets positiv bleiben, 2. durch Nullsetzen von $P$ $U_\varrho - U_\tau$ wachsen, 3. $\frac{U_\varrho - U_\tau}{U_\varrho}$ dagegen dadurch abnehmen muss.

Wir haben zu wählen zwischen drei Möglichkeiten, 1. $\alpha = 1$, [126] was soviel heisst, wie dass die negative Kraft der parelektronomischen Strecke an der Schwankung nicht theilnimmt; 2. $\alpha = a$, was soviel heisst, wie dass sie in gleichem Maasse daran theilnimmt, wie die positive Kraft des Gesammtmuskels; und 3. $1 > \alpha > a$, was soviel heisst, wie dass sie zwar daran theilnimmt, jedoch in geringerem Maass als die positive Kraft. $\alpha < a$ würde bedeuten, dass sie stärker abnimmt, als die positive Kraft, endlich $\alpha > 1$, dass sie beim Tetanus zunimmt: Annahmen, zu welchen wir vorläufig keinen Grund haben.

I. $\alpha = 1$.

Früher hatte ich $\alpha = 1$ gemacht. Dadurch wurde $U_t = aM - P$, $U_\varrho - U_\tau = (1-a)M$. Letzterer Ausdruck bleibt zwar stets positiv, aber er ist unabhängig von $P$. Dies entsprach meinen damaligen unvollkommenen Beobachtungen, widerspricht aber der zweiten jetzt aufgestellten Bedingung. Unter diesen Umständen kann es zu nichts helfen, dass

$$\frac{U_\varrho - U_\tau}{U_\varrho} = \frac{(1-a)M}{M-P}$$

durch Nullsetzen von $P$ abnimmt.

II. $a = \alpha$.

Setzen wir $\alpha = a$, d. h. lassen wir die negative Kraft der parelektronomischen Strecke in gleichem Maasse wie die positive Kraft des Gesammtmuskels an der Schwankung theilnehmen, so wird $U_\varrho - U_\tau = (1 - a)(M - P)$, d. h. die Schwankung ist dem ursprünglichen Strome proportional. Für $P < M$ ist zwar $U_\varrho - U_\tau$ positiv, wird aber für kleine Werthe dieser Ungleichheit kleiner als in Wirklichkeit. Für $P = M$ ist $U_\varrho - U_\tau = 0$, der wegen Parelektronomie stromlose Muskel bliebe es auch im Tetanus. Auch dies stimmt nicht mit der Erfahrung, wenigstens an der Bussole. Denn die unter diesen Umständen erfolgende secundäre Zuckung liesse sich noch immer durch die geringste Ungleichzeitigkeit in den Schwankungen der parelektronomischen Kraft und der positiven Kraft des Gesammtmuskels erklären. Allein für $P > M$ ist $U_\varrho - U_\tau$ negativ, d. h. der wegen Parelektronomie negativ wirksame Muskel [127] zeigte im Tetanus zwar relativ negative, aber absolut positive Schwankung. Durch Nullsetzen von $P$ erscheint für $P = M$ überhaupt erst negative Schwankung, für $P < M$ wird sie absolut vergrössert, für $P > M$ verwandelt sich die absolut positive in eine absolut negative Schwankung. Endlich das Verhältniss der Schwankung zum Strom in der Ruhe ist das nämliche bei natürlichem wie bei künstlichem Querschnitt, denn man hat

$$(1 - a)\frac{M - P}{M - P} = (1 - a)\frac{M}{M}.$$

III. $\alpha > a$.

Dies also passt nicht. Schlagen wir nun aber einmal den Mittelweg zwischen meiner früheren und der letzten Voraussetzung ein, und setzen wir $1 > \alpha > a$, z. B. $\alpha = na$, wo $n > 1$, d. h. lassen wir die negative Kraft der parelektronomischen Strecke an der Schwankung in geringerem Maasse theilnehmen als die positive des Gesammtmuskels.

Alsdann wird

$$U_\varrho - U_\tau = (1 - a)M - (1 - na)P.$$

Dieser Ausdruck bleibt positiv, so lange

$$\frac{M}{P} > \frac{1 - na}{1 - a}.$$

$P$, mit dessen Wachsen die linke Seite abnimmt, wird nicht $< \frac{1}{1 \cdot 5}$, $a$, mit dessen Wachsen die rechte Seite wächst, nicht $< 0 \cdot 6$ (s. oben S. 533. 534). Daraus folgt, dass $n$ nicht kleiner als $\frac{11}{9}$ werden dürfe, soll

die Schwankung absolut negativ bleiben. Doch zwingt uns nichts, $n$ grösser anzunehmen, da es nur darauf ankommt, dass überhaupt $n > 1$ sei, damit die Proportionalität zwischen Schwankung und ursprünglichem Strom aufhöre.

Vernichten von $P$ vergrössert sodann absolut die Schwankung, verkleinert dagegen das Verhältniss

[128] $$\frac{U_\varrho - U_\tau}{U_\varrho} = \frac{(1-a)M - (1-na)P}{M-P},$$

denn für $n > 1$ ist dieser Bruch $> \frac{(1-a)M}{M}$.

Wie man sieht, stellt unsere Formel die Erscheinungen diesmal befriedigend dar. Die nächste Folge wird aber lehren, dass wir uns dabei noch nicht beruhigen dürfen.

## §. XX. Von den beiden am unversehrten Muskel zugleich vorhandenen Arten der Nachwirkung, nämlich der **inneren** und der **terminalen** Nachwirkung.

Wer obigen Verhandlungen aufmerksam folgte, hat leicht bemerkt, dass die Auffassung, bei der wir im vorigen Paragraphen stehen blieben, dem Thatbestande noch nicht ganz entspricht. Ein Punkt ist dabei ausser Acht gelassen, durch den die negative Schwankung bei künstlichem Querschnitt, oder ohne parelektronomische Strecke, von der bei natürlichem Querschnitt, oder mit parelektronomischer Strecke, noch anders sich unterscheidet, als durch ihre bisher allein berücksichtigte absolute und negative Grösse. Dieser weitere Unterschied besteht in dem bei künstlichem Querschnitte sich zeigenden eigenthümlichen, langsamen, stockenden, ja von Rückschritten unterbrochenen Gange der Schwankung, verbunden mit der grösseren Stärke und Dauer der Nachwirkung.

Wie schon in der ersten Abtheilung gesagt wurde, sieht man bei natürlichem Querschnitt im Beginne des Tetanus den Faden im negativen Sinne vorwärts gehen, zurückweichen oder zucken, abermals weiter vorschreiten, zurückweichen, zum dritten Male vielleicht wieder weniger weit vorgehen, und nach öfterer Wiederholung dieses Spieles endlich nicht selten zwischen engen, bald etwas höheren, bald etwas tieferen Grenzen kurze Zeit hin und her schwanken. Hier würde es sehr wohl gelingen, einen mittleren Werth der Schwankung durch Compensation zu messen. Doch liegt hier nicht soviel daran, wie bei Anstellung des Versuches mit künstlichem Querschnitte, weil auch ohne Messung der Augenschein lehrt, dass die Schwankung oft den ursprünglichen Strom weit übertrifft, und den [129] Faden auf die negative Seite des Nullpunktes führt. Aus

dieser fast beständigen Ablenkung kehrt nach beendigtem Tetanus der Faden meist nur sehr langsam zurück. Es hinterbleibt eine Nachwirkung, welche oft die Hälfte der Schwankung beträgt.[1] Sie kann aber oberhalb einer gewissen Grenze jeden Werth bis fast zu dem der negativen Schwankung selber annehmen, mit anderen Worten, bei hoher Parelektronomie kommen Fälle vor, wo sich der Strom von der negativen Schwankung kaum erholt. Bei erneutem Tetanus erhält man dann nur sehr schwache, absolut negative, relativ positive Wirkung, obschon der Muskel sich noch ganz gut zu verkürzen scheint.

Bei künstlichem Querschnitte zeigt sich von dem Allem nichts. Der Faden geht schnell und stetig zu einem viel grösseren absolut und relativ negativen Maximum, und kehrt sogleich, langsamer zwar, doch nicht minder stetig, zurück. Die schliesslich hinterbleibende Nachwirkung schätzten wir, so gut es anging, auf nur etwa $^1/_{10}$ der Schwankung, oder etwa 4 pCt. der ursprünglichen Stromkraft.

So werden wir zur Einsicht geführt, dass es zwei Arten der Nachwirkung giebt, welche am unversehrten Muskel zugleich vorhanden sind, von denen aber die eine mit dem natürlichen Querschnitte verloren geht.

Es giebt erstens eine Nachwirkung, welche die ganze Muskelmasse ergreift, und daher auch bei künstlichem Querschnitte wahrnehmbar ist. Sie ist es, welche Hermann Roeber [130] in seiner letzten Arbeit ausführlich untersuchte.[2] Es gelang ihm, viel höhere Werthe dieser Nachwirkung zu beobachten, als sie in unseren Versuchen vorkamen, in welchen wir nur ausnahmsweise den Muskel zur Erschöpfung tetanisirten, denn mittels der statistischen Methode[3] fand er die Kraft von Muskeln, die durch Strychnin- oder Pikrotoxin-Tetanus erschöpft waren, um 17, beziehlich 22 pCt. herabgesetzt. An Hrn. Ranke's Ergebnisse anknüpfend, welche er theils bestätigte, theils berichtigte, bewies Roeber, dass diese Nachwirkung auf der Säurung des Muskels beruht, die nach meiner

[1] Beiläufig sei bemerkt, dass noch nicht untersucht ist, wie bei Anwendung eines leichten aperiodischen Magnetspiegels die negative Schwankung des Muskelstromes am lebenden Menschen bei willkürlichem Tetanisiren der Gliedmaassen sich gestaltet. Vielleicht wird dabei, wie auch bei elektrischem Tetanisiren der Gliedmaassen des Kaninchens, die negative Schwankung die soeben in Erinnerung gebrachte Beschaffenheit zeigen, welche dem vom natürlichen Querschnitt abgeleiteten Strom eigen ist. Wenigstens giebt sich im Versuch am Menschen stets sehr starke Nachwirkung kund (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 291). Am Kaninchen gelang es aus besonderen Gründen bei den älteren Versuchen nicht, die Nachwirkung zu beobachten (a. a. O. S. 347).

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1870. S. 633.

[3] Vergl. oben S. 218. Anm. 1.

Entdeckung die Zusammenziehung begleitet. Eine nur halbprocentige Milchsäurelösung, in Froschmuskeln gespritzt, setzte deren elektromotorische Kraft um fast 30 pCt. herab. Dies lehrt, eine wie kleine Säuremenge man nur anzunehmen braucht, um dadurch die Nachwirkung zu erklären. Andererseits erhöhte in Roeber's Versuchen eine halbprocentige kohlensaure Natronlösung, in Muskeln gespritzt, die durch Pikrotoxintetanus erschöpft waren, deren Kraft wieder um 11 pCt. Dies lehrt, [131] dass ein Säure neutralisirender Einfluss wirklich die Nachwirkung beseitigt, was deren Entstehung durch Säurung des Muskels ausser Zweifel setzt. Ich will diese Nachwirkung, zum Unterschiede von der anderen, gleich zu bezeichnenden, 'innere Nachwirkung' nennen.

Wenn aber Roeber auch die negative Schwankung selber und sogar deren in das Latenzstadium fallenden, secundäre Zuckung erregenden Theil auf Säurung des Muskels zurückführen wollte, so ging er meines Erachtens zu weit. Zugegeben, die Säure entstände plötzlich genug, um die Schwankung zu erklären, so ist erstens nicht bewiesen, im Gegentheil sehr unwahrscheinlich, dass bei einer einzelnen Zuckung Säure genug im Muskel entstehe, um die elektromotorische Kraft bis beinah auf Null herabzudrücken (s. oben S. 515). Zweitens bliebe dunkel, was aus dieser Säure werde, wenn ein paar Tausendstel Secunde später die Kraft fast ihre frühere Höhe erreicht. Wäre solche Säuremenge einmal da, der Muskel müsste todtenstarr werden. Drittens zeigt der Nerv negative Schwankung, und noch stärker als der Muskel (s. oben S. 518), ohne Säurung.[1] Endlich viertens lehrt das Verhalten des Muskels bei natürlichem Querschnitt, dass neben der Säurung jedenfalls noch etwas Anderes im zuckenden Muskel vorgeht.

Es ist nämlich nun eine zweite Art der Nachwirkung zu unterscheiden, welche, da sie nur bei natürlichem Querschnitte stattfindet, ihren Sitz nothwendig an den Faserenden hat, und deshalb, im Gegensatz zur inneren Nachwirkung, 'terminale Nachwirkung' heissen soll. Auch diese der Säurung zuschreiben zu wollen, wäre ganz fehlerhaft. Wir wissen von der Säure nicht, dass sie an den Faserenden sich anhäuft, und wir sind nicht berechtigt, ihr eine andere Wirkung zuzuschreiben, als eine kraft- und widerstandvermindernde, nicht aber eine kraftvermehrende, geschweige eine nach dem Gesetze des Muskelstromes erfolgende selbständige elektromotorische Wir- [132] kung. Durch die terminale Nachwirkung aber wird ein in der Ruhe unwirksamer Muskel negativ

---

[1] Ueber die angebliche Säurung der Nerven bei Anstrengungen vergl. die Zusammenstellung von Hrn. R. Gscheidlen in Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie u. s. w. 1873. Bd. VIII. S. 171.

wirksam, ein negativ wirksamer stärker wirksam. Dies lässt sich nicht durch die Annahme erklären, dass die positive Kraft des ganzen Muskels abnehme, während die negative Kraft der parelektronomischen Strecke beständig bleibe, denn dann müsste die Nachwirkung bei künstlichem und bei natürlichem Querschnitte gleich gross sein. Jenes Verhalten lässt sich vielmehr nur dadurch erklären, dass am natürlichen Querschnitt in den Faserenden eine nach dem Gesetze des Muskelstromes mit umgekehrtem Zeichen wirksame, also negative elektromotorische Kraft entsteht, die zur positiven Kraft der parelektronomischen Strecke sich algebraisch summirt.

Wie man sieht, ist der Vorgang der negativen Schwankung auch am regelmässigen, aber unversehrten Muskel noch viel verwickelter, als er sich uns schon in unseren letzten Betrachtungen darstellte. Ehe wir dazu schreiten, ihn möglichst vollständig zu zergliedern, haben wir aber noch von einer wichtigen Beziehung Kenntniss zu nehmen, die sich hier geradezu aufdrängt.

## §. XXI. Dass die terminale Nachwirkung gleich der Parelektronomie bei Herstellung künstlichen Querschnittes schwinde, wird durch unmittelbaren Versuch bewiesen.

Die terminale Nachwirkung besteht, wie wir wissen, darin, dass eine nach dem Gesetze des Muskelstromes mit umgekehrtem Zeichen wirksame, also negative Kraft, zur negativen Kraft der parelektronomischen Strecke hinzutritt. Diese neue negative Kraft hat zum Sitz die natürlichen Faserenden, d. h. das anatomische Substrat der Parelektronomie. Was nun stellt solche Kraft anders vor, als Verstärkung der Kraft der parelektronomischen Strecke, als Erhöhung der Parelektronomie? So werden wir fast unwillkürlich darauf geführt, dass vielleicht terminale Nachwirkung und Parelektronomie einerlei sind.

Ist dies richtig, so muss Herstellung künstlichen Querschnittes nach Tetanus grösseren positiven Kraftzuwachs be- [133] dingen als vorher. Nennen wir $N_t$, $N_i$ die Beträge der terminalen und der inneren Nachwirkung in einem gegebenen Augenblicke nach dem Tetanus. Stellt man künstlichen Querschnitt her, so geht der Spannungsunterschied $M - P - N_t - N_i$ über in $M - N_i$. Der Kraftzuwachs ist also $P + N_t$. Stellt man dagegen künstlichen Querschnitt her ohne vorläufigen Tetanus, so ist der Kraftzuwachs nur $P < P + N_t$. So sehr dies einleuchtet, so unmöglich scheint es beim ersten Blick, den Beweis zu führen, dass dem so sei. Denn der Versuch, wie er hier gedacht ist, setzt voraus, dass

man an zwei Muskeln der Gleichheit von $P$ gewiss sei. Wir beobachten aber vor Herstellung des künstlichen Querschnittes stets nur $M - P$, und aus Gleichheit der Wirkung zweier Muskeln mit natürlichem Querschnitt dürfen wir nur schliessen, dass $M - P = M_1 - P_1$. Um daraus zu entnehmen, dass $P = P_1$, müssten wir finden $M = M_1$. Nach dem Tetanus messen wir an dem einen Muskel aber nur $M - N_i$. Wir würden also im Ungewissen bleiben, abgesehen von der Unsicherheit, die von solcher mittelbaren Grössenbestimmung in diesem Gebiet unzertrennlich ist.

Um den verlangten Beweis zu führen, bedürfen wir also eines Verfahrens, um die Parelektronomie sicherer als bisher, womöglich an demselben Muskel vor und nach dem Tetanus, zu messen. Dazu ersann ich die schon in der Abhandlung 'Ueber den Einfluss körperlicher Nebenleitungen auf den Strom des M. gastroknemius des Frosches' (s. oben S. 367) näher geschilderte Methode, die Parelektronomie nach dem positiven Kraftzuwachs zu schätzen, den ein mit ätzender Flüssigkeit, z. B. $\bar{L}$ : HO : : 1 : 1, getränktes Fliesspapierscheibchen von stets derselben Grösse und Gestalt, dem Achillesspiegel angelegt, hervorbringt.

Man erinnert sich, dass das Verfahren seinen Zweck im Allgemeinen erfüllt, dass aber eine unerwartete und lehrreiche Verwickelung dabei auftritt. Bei gleicher Parelektronomie bringt das 'Milchsäurescheibchen' um so grösseren Zuwachs hervor, je tiefer es dem Achillesspiegel angelegt wird. [134] Der Grund hiervon ergab sich darin, dass die Muskelmasse für den Neigungsstrom des Achillesspiegels eine Nebenleitung bildet, welche um so mehr schwächend auf den Stromzweig im Bussolkreise wirkt, je grösser die Muskelmasse, am meisten also in der oberen, am wenigsten in der unteren Gegend des Spiegels. Legt man mehrere Scheibchen in gleicher Höhe nebeneinander an, so wirkt im Allgemeinen jedes folgende Scheibchen schwächer als das vorhergehende; doch tritt dies Gesetz sicher erst im Mittel mehrerer Versuche hervor.

Daraus ergab sich die Nothwendigkeit, hier folgendermaassen zu verfahren. In gleichen Zwischenräumen solcher Länge, dass die Scheibchen volle Wirkung üben, wozu bei verdünnter Milchsäure zwei Minuten genügen, legte ich dem Achillesspiegel des im 'Muskelspanner'[1] immobilisirten Gastroknemius in der Medianlinie von unten nach oben zu Scheibchen an, und verzeichnete die dadurch bewirkten, mit grosser Regel-

[1] So nenne ich fortan, der Kürze halber, den unten auf S. 543 abgebildeten, bisher als „kleine Streckvorrichtung" bezeichneten kleinen Apparat. Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 67. Taf. I. Fig. 86. 87 *A* u. *B*.

mässigkeit abnehmenden Kraftzuwachse des vom oberen Knochenstück und vom Sesamknorpel abgeleiteten Stromes. Dann tetanisirte ich den Muskel vom Nerven aus[1] möglichst stark und lange, maass abermals die wegen der Nachwirkung verminderte Kraft, und legte darauf über dem höchsten vor dem Tetanus angelegten Scheibchen wieder ein Scheibchen an. Wirkte dies stärker als jenes, so hatte der Muskel durch den Tetanus an Parelektronomie [135] zugenommen; denn blieb die Parelektronomie dieselbe, so hätte das höher angelegte Scheibchen schwächer als das letzte gewirkt. Der Sorge, dass mit mehreren Milchsäurescheibchen belegte Muskeln nicht zucken würden, ward ich bald enthoben. Meist thun sie dies noch ganz gut, und die negative Schwankung zeigt noch, wenn auch minder ausgeprägt, die ihr bei natürlichem Querschnitt zukommenden Eigenthümlichkeiten (vergl. oben S. 536. 537). So erhielt ich Reihen wie folgende, in denen die Zahlen Compensatorgrade bedeuten.

| | | Gastroknemius | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | I. | | II. | | III. | |
| Ursprüngliche Kraft . . . . . . . | | +122 | Zuwachs. | +413 | Zuwachs. | +50 | Zuwachs. |
| Kraft nach Einwirkung der L̄-Scheibchen | 1 | 211 | 89 | 519 | 106 | 333 | 283 |
| | 2 | 263 | 52 | 534 | 15 | 426 | 93 |
| | | Tetanus. | | Tetanus. | | | |
| | | 237 | | 468 | | | |
| | 3 | 318 | **81** | 585. | **117** | 481 | 55 |
| | | | | | | Tetanus. | |
| | | | | | | 403 | |
| | 4 | | | 600 | 15 | 484 | **81** |

In jeder dieser Reihen folgt dem Tetanus, ganz wie wir es erwarteten, ein stärkerer durch das aufgelegte Milchsäurescheibchen bewirkter Kraftzuwachs.

Bei der Regelmässigkeit, mit der sonst beim Auflegen der

[1] Um den Muskel zur Erschöpfung zu tetanisiren, hätte ich besser bei offenem Bussolkreise die Schläge unmittelbar dem Muskel zugeführt. Dagegen sprachen aber dieselben Gründe, welche schon vor mehr als zwanzig Jahren bei meinen Forschungen über die Nachwirkung mich verhinderten, so zu verfahren, welche näher darzulegen ich aber auch heute noch nicht in der Lage bin (Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 155). Uebrigens erfüllte das mittelbare Tetanisiren seinen Zweck so, dass es nicht rathsam gewesen wäre, um etwas grösserer Wirkungen willen einen neuen Fehlerquell zu erschliessen.

Scheibchen die Zuwachse von unten nach oben abnehmen, scheint es schon hiernach, als sei wirklich der Muskel durch das Tetanisiren parelektronomischer geworden. Es hätte verhältnissmässig wenig zu sagen, dass auch Fälle vorkommen, wo Tetanus den Zuwachs nicht vergrössert. Allein es giebt [136] einen anderen sehr gewichtigen Einwand gegen diese Versuche. Es ist unmöglich, zu beweisen, dass der Zuwachs, den ein nach dem Tetanisiren aufgelegtes Scheibchen erzeugt, nicht bloss deshalb grösser ausfällt, weil während der zwei Minuten, deren das Scheibchen bedarf, um seine volle Wirkung zu üben, die Nachwirkung sank. Jener grössere Zuwachs setzt sich, wenn unsere Vorstellung richtig ist, aus zwei Theilen zusammen, einem Theil *A*, der auf Zerstörung der ursprünglichen und der neugebildeten parelektronomischen Strecke, und einem Theile *B*, der auf Sinken der Nachwirkung im übrigen Achillesspiegel beruht. Man müsste *B* von *A* abziehen können, um zu beurtheilen, ob *A* im Vergleich zu den ohne vorläufigen Tetanus bewirkten Zuwachsen, aus der Reihe falle. Wartet man aber, bis alle Nachwirkung verschwunden ist, so sind die Zuwachse, die man nun erhält, wegen allgemein verminderter Leistungsfähigkeit nicht mehr mit den früheren vergleichbar.

Geböte man über mehrere Gastroknemien, wie man dann und wann einen antrifft (s. oben S. 537), an denen die terminale Nachwirkung der negativen Schwankung fast gleichkommt, und welche nach dem Tetanus mit fast beständiger Kraft negativ wirksam bleiben: so liesse sich der Versuch mit den Scheibchen wohl anstellen, weil hier der auf Nachwirkung beruhende Theil *B* des nach dem Tetanus beobachteten Zuwachses verschwände. Es braucht kaum gesagt zu werden, warum die Fälle der Art, die sich zuweilen darbieten, nicht so zu verwerthen sind. Hat man sie erkannt, so ist es zu spät dazu.

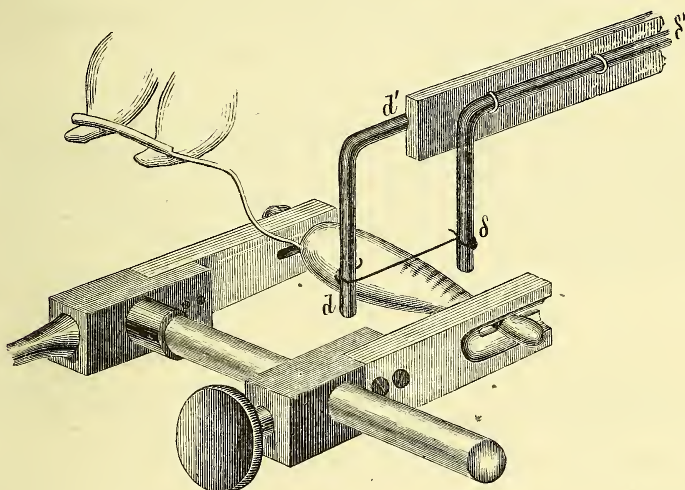
Es ist klar, die einzige Art, hier zum Ziele zu kommen, wäre Anwendung eines die Parelektronomie so schnell zerstörenden Verfahrens, dass während seiner Ausübung keine in Betracht kommende Abnahme der Nachwirkung stattfände. Solches Verfahren ist Berührung des Achillesspiegels mit einem heissen Körper.

Man denke sich einen Platindraht quer über den Achillesspiegel fort ausgespannt und dem Spiegel mit stets demselben leisen Druck anliegend. Eine stets dieselbe kurze Zeit hindurch geschlossene Kette, die 'galvanokaustische Kette' [137] genannt, erhitzt bei gleicher Ableitung der Wärme den Draht stets auf denselben Grad. So verbrennt er in wenigen Secunden die berührte Stelle in gleicher Ausdehnung und in gleichem Grade. Diese Verbrennung, welche von Erhöhung der positiven Kraft des Muskels begleitet ist, muss sich im Versuch ebenso anwenden lassen,

wie die Anätzung durch Milchsäurescheibchen, wegen der Geschwindigkeit, mit der sie entsteht, aber frei vom Uebelstande sein, den wir letzterer vorwarfen.

Nachstehende Figur zeigt, wie ich diesen Gedanken verwirklichte. Ein Gastroknemius war in dem Muskelspanner ausgestreckt, mit nach oben gekehrtem, möglichst wagerechten Achillesspiegel. Man erkennt leicht in der Figur die beiden Elfenbeinplatten des Spanners. Zwischen ihnen erblickt man den Muskel, dessen Sesamknorpel diesseit des Schlitzes der vorderen Elfenbeinplatte erscheint, und dessen Nerv den Thonspitzen der unpolarisirbaren Zuleitungsröhren aufliegt, welche die tetanisirenden Schläge zuführten. Die Zuleitungsgefässe mit ihren Bäuschen und Thon-

Fig. 39.




schildern, welche den Muskelstrom abführten, sind fortgelassen. $d\delta$ ist ein an die Enden der $2^{mm}$ dicken Kupferdrähte $dd'$, $\delta\delta'$ gelötheter Platindraht von $25^{mm}$ Länge und $0 \cdot 3^{mm}$ Durchmesser, [138] dessen Mitte auf dem Achillesspiegel ruht. Die Kupferdrähte laufen dem wagerechten Hebel $d'\delta'$ bis zu dessen Drehpunkt entlang und tauchen hier jeder mit verquicktem Ende in ein Quecksilbergefäss, von wo aus sie den Strom der galvanokaustischen Kette (einer Grove'schen Kette grösserer Art) erhalten. Im Kreise der Kette und des Platindrahtes befindet sich zwischen zwei Quecksilberrinnen eine Lücke, in welche die verquickten Enden eines durch ein Uhrwerk bewegten Kupferbügels, wenn das Uhrwerk ausgelöst ist, jedesmal 5'' eintauchen. Ein- und Austauchen des Bügels wird durch ein akustisches Signal angezeigt.

Geschehen alle Zuleitungen durch 2$^{mm}$ dicke Kupferdrähte, so erglüht während des Kettenschlusses der Platindraht, und ruht dieser auf dem Achillesspiegel mit dem vollen Moment des wagerechten Hebels, so schneidet er den Muskel dabei glatt durch.

Die Erhitzung des Drahtes ist durch Einführung von Widerständen leicht zu regeln. Um auch den Druck auf den Spiegel zu beherrschen, läuft jenseit des Drehpunktes der Hebel in eine Stahlstange mit Laufgewicht aus. Ausserdem aber hatte ich vermöge der Länge des Hebels und seiner wagerechten Stellung den Druck beinahe unabhängig gemacht von der Höhe, in welcher der Gastroknemius den Draht trägt, wenn er verschiedenen Punkten der Muskellänge anliegt. Es lässt sich berechnen, dass bei dem 200$^{mm}$ betragenden Abstande zwischen Drehpunkt und Mitte des Drahtes, horizontaler Stellung des Hebels und Erhebung oder Senkung des Drahtes um 2$^{mm}$, wie sie höchstens vorkommen kann, der Druck des Drahtes nur um $^1/_{20000}$ sich ändert.[1]

---

[1] Es heisse $P$ das im Schwerpunkt $S$ vereinigt gedachte Gewicht des Hebels. Der Draht ruhe auf dem Muskel mit seiner Mitte $M$. $\lambda$ sei die Entfernung des Schwerpunktes, $\Lambda$ die der Mitte des Drahtes vom Drehpunkt $D$. $S$ liege über der Verbindungslinie $DM$, $DM$ mache mit der Horizontalen den Winkel $x$, die Verbindungslinie $DS$ den Winkel $\alpha + x$. Der Druck $\triangle$, den $M$ in tangentialer Richtung auf den Muskel übt, ist

$$\triangle = P \cdot \frac{\lambda}{\Lambda} \cos(\alpha + x).$$

Setzt man $\sin x = z$ und differenzirt man $\triangle$ nach $z$, so erhält man $\frac{d\triangle}{dz} = 0$ für $\alpha = -x$. Die Veränderung des tangentialen Druckes durch Veränderung der Höhe, in welcher der Muskel den Draht trägt, wird also am kleinsten, wenn $DS$ wagerecht ist, wobei zugleich der tangentiale Druck am grössten, $= P \cdot \frac{\lambda}{\Lambda}$ wird. In Wirklichkeit konnte $\alpha$ vernachlässigt werden, statt $DS$ wurde $DM$ möglichst genau horizontal gemacht. Wurde dann beim Verschieben des Drahtes auf dem Achillesspiegel $M$ um $h$ gehoben oder gesenkt, so betrug die Verminderung des tangentialen Druckes

$$P \cdot \frac{\lambda}{\Lambda}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{h^2}{\Lambda^2}}\right).$$

Wie man sieht, nähert sich die Grösse unter dem Wurzelzeichen der Einheit, und der Werth des ganzen Ausdruckes folglich der Null, um so mehr, je grösser $\Lambda$ bei gleichem $h$. $h$ konnte höchstens $= \pm 2^{mm}$ sein, $\Lambda$ war 200$^{mm}$. Daraus ergiebt sich die Aenderung des Druckes für die möglicherweise vorkommende Hebung oder Senkung zu höchstens $^1/_{20000}$.

Anstatt die Glühvorrichtung an einem Hebel beweglich zu machen, hätte ich sie auch durch ein Gewicht nahe aufgewogen an Rollen aufhängen, und die unteren Enden $d\delta$ der Kupferdrähte unmittelbar in Quecksilber tauchen können. Unter verschiedenen Gründen, welche hiergegen sprachen, ist vorzüglich der zu nennen,

[139] Indem so Druck und Temperaturerhöhung des Drahtes beherrscht werden, gelingt es zu erreichen, dass eine Berührung des Drahtes, während der Strom 5″ hindurchgeht, auf dem Achillesspiegel nur eine matte Strieme hinterlässt, und indem der Draht dann immer um 2—3 $^{mm}$ auf dem Spiegel aufwärts gerückt wird, kann der Spiegel wie mit einer Längentheilung bedeckt werden, deren Striche die Brandstriemen bilden (s. d. Figur.) Sie erscheinen völlig gleichmässig, nur dass sie oben etwas länger werden, weil hier die Curve des Muskelumfanges, wegen grösseren Krümmungshalbmessers, mit dem tangirenden Draht in grösserer Strecke zusammenfällt.

Wie zu erwarten, bringt jede Brandstrieme einen positiven Kraftzuwachs hervor. Doch sind bei gleicher Parelektronomie die Zuwachse kleiner als mit den Milchsäurescheibchen, weil Berührung des Drahtes, der Länge des Muskels nach gemessen, eine kürzere Strecke des Achillesspiegels in künstlichen Querschnitt verwandelt, als Berührung des Scheibchens, die künstliche Neigungsstromkraft aber mit der Länge des blossgelegten künstlichen Querschnittes wächst. Aus der geringen Breite der Striemen im Vergleich zu den geätzten Stellen unter den Scheibchen erwächst aber der grosse Vortheil, dass man längs der Rückenfläche eines Gastroknemius viel mehr Striemen brennen, als Scheibchen anlegen kann.

Folgende Tabelle zeigt beispielsweise das Verhalten zunächst ohne Tetanus in einem vollständigen Versuche.

Ursprüngliche Kraft in Compensatorgraden +44·2

| | Brandstrieme | Kraftzuwachs |
|---|---|---|
| Achillessehne | I. | |
| | 44·6 | . . . + 0·4 |
| | 45·6 | |
| Achillesspiegel | II. | |
| | 56·5 | . . . +10·9 |
| | 59·4 | |
| | III. | |
| | 67·8 | . . . + 8·4 |
| | 70·4 | |
| | IV. | |
| | 77·5 | . . . + 7·1 |
| | 79·4 | |
| Achillesspiegel | V. | |
| | 85·0 | . . . + 5·6 |
| | 2 Minuten Pause. | |
| | 89·0 | |
| | VI. | |
| | 94·0 | . . . + 5·0 |
| | 95·4 | |
| | VII. | |
| | 99·6 | . . . + 4·2 |
| | 99·8 | |
| | VIII. | |
| | 105·0 | . . . + 5·2 |
| | 106·6 | |
| | IX. | |
| | 111·0 | . . . + 4·4 |
| | 2 Minuten Pause. | |
| | 115·0 | |

---

dass die Vorrichtung nach der Tiefe, bis zu welcher die Kupferdrähte in das Quecksilber tauchten, verschieden schwer wog. Bei der gewählten Anordnung ist die Schwankung der Tiefe, bis zu welcher die Drähte eintauchen, unmerklich.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | X. | | | XII. | |
| Rothes Fleisch | 116·0 | . . . +1·0 | Rothes Fleisch | 119·6 | . . . +1·6 |
| | 117·2 | | | 119·7 | |
| | XI. | | | XIII. | |
| | 119·0 | . . . +1·8 | | 111·4 | . . . −8·1 |
| | 118·0 | | | | |

Die römischen Zahlen bezeichnen die folgweise von unten nach oben in etwas über 2 $^{mm}$ Abstand von einander vorgenommenen Verbrennungen. I. fand an der Achillessehne selber statt, II—IX. am Achillesspiegel, X—XIII. am rothen Fleische zwischen Achillesspiegel und Hauptsehne. Die beiden, gewöhnlich um 1—2 Einheiten im positiven Sinne verschiedenen Zahlen zwischen je zwei Verbrennungen sind die Kraft unmittelbar nach der vorhergehenden und unmittelbar vor der darauf folgenden Verbrennung. Die Verbrennungen geschahen in einem Zeitabstande von je zwei Minuten, während welcher die Kraft um jene Grösse stieg, erstens, weil sie häufig am Gastroknemius im Steigen begriffen ist, zweitens, weil die Wirkung der Verbrennung, obschon im Wesentlichen rasch beendigt, in geringem Maasse noch über die nächstfolgenden Minuten sich erstreckt. Jener Zeitabstand wurde zwischen zwei Verbrennungen gelassen, theils damit sicher Zeit bleibe zu kleinen Geschäften, deren Dauer sich nicht genau regeln lässt, als da sind das Rücken des Drahtes auf dem Muskel, das Corri- [142] giren der täglichen Variation, u. d. m.; theils, um in den nun erst folgenden wirklichen Versuchen das Tetanisiren bis zur Erschöpfung ausführen zu können, ohne die Periode der Versuche zu verändern. Zweimal in obiger Reihe, zwischen V. und VI. und zwischen IX. und X., ist aber eine Pause von 2 Minuten gemacht, um festzustellen, dass dies von keinem Einfluss auf die Grösse des Zuwachses ist, den die darauf folgende Verbrennung erzeugt: da man nämlich beim Tetanisiren, aus verschiedenen Gründen, die 2-Minuten-Periode nicht immer streng innehalten kann. Der Unterschied der beiden durch die längere Pause getrennten Zahlen ist natürlich grösser, als bei kürzerer Pause.

Liegt der Draht der Achillessehne selber an, so ist oft der Zuwachs Null. Im vorliegenden Fall ist eine Spur davon da; vielleicht durch Strahlung des Drahtes nach den letzten Faserenden des Achillesspiegels zu bewirkt, da auf der Achillessehne der Draht durch Leitung und Verdampfung am wenigsten Wärme verliert, und da die Wirkung jener untersten Faserenden am wenigsten durch Nebenschliessung geschwächt wird.

Sobald man mit dem Drahte den Spiegel selber betritt, ist die Wirkung der Verbrennung verhältnissmässig sehr gross, sogleich aber nehmen

auch die Zuwachse mit fast vollkommener Regelmässigkeit ab bis zu der für das Auge am unversehrten Muskel nicht sicher erkennbaren Grenze zwischen Achillesspiegel und natürlichem Längsschnitt. Das Ueberschreiten dieser Grenze spricht sich in unserem Versuche durch plötzliches Sinken des Zuwachses aus. Doch fahren, bis nah an die Hauptsehne, kleine positive Zuwachse zu erscheinen fort, möglicherweise weil auch hier noch einzelne Fasern am Perimysium enden, und erst ganz oben werden die Zuwachse negativ, wie es mit den Milchsäurescheibchen schon früher geschieht. Dies Negativwerden der Zuwachse erklärt sich bekanntlich so, dass die abgestorbene Stelle wegen der Säurung den in die Bussole sich ergiessenden Stromzweig durch Nebenschliessung schwächt (s. oben S. 371).

[143] Uebrigens ist, wie man sieht, das Gesetz, nach welchem die Grösse des Zuwachses von der Höhe abhängt, in der die Verbrennung geschieht, ganz dasselbe, wie für die Milchsäurescheibchen. Natürlich überzeugte ich mich auch hier davon, dass die Abnahme des Zuwachses von unten nach oben unabhängig von der Reihenfolge ist, in der man die Grösse des Zuwachses an verschiedenen Stellen untersucht, mit anderen Worten, dass man Zunahme des Zuwachses erhält, wenn man mit den Verbrennungen von oben nach unten vorschreitet (s. oben S. 368. 369). Die Abnahme der Zuwachse von unten nach oben wäre vielleicht etwas geschwinder, wüchse nicht aus dem oben S. 545 erwähnten Grunde die Länge der Striemen nach oben zu. Eine längere Strieme, d. h. eine solche, welche einen grösseren Theil des Muskels umgiebt, wirkt in der That stärker als eine kürzere, wie mehrere in gleicher Höhe nebeneinander angebrachte Milchsäurescheibchen ihre Wirkung gegenseitig etwas verstärken (s. oben S. 368).

Wie schon gesagt, ist die Wirkung einer Verbrennung wenige Secunden nach dem Austauchen des die galvanokaustische Kette schliessenden Bügels so gut wie beendet. Lässt man den Draht an derselben Stelle liegen, und erhitzt ihn nochmals durch 5″ langes Schliessen der Kette, so ist die Wirkung stets sehr klein, und oft negativ. Lässt man aber die Kette länger geschlossen, so fährt die Kraft fort zu steigen. In einem Falle z. B. war die Reihe:

| | | |
|---|---|---|
| Ursprüngliche Kraft . . . +38·3 | | |
| | Brandstrieme I. | Kraftzuwachs |
| | 49·5 | . . . +11·2 |
| | 53·1 | |
| | II. | |
| | 60·5 | . . . + 7·4 |
| | 62·0 | |
| | III. | Der Draht bleibt liegen, bis kein Steigen mehr erfolgt. |
| | 98·5 | . . . +36·5. |

[144] Anstatt einer regelrechten Strieme fand sich diesmal eine ausgedehnte trockene, matte Stelle, in deren Mitte ein brauner Punkt den Anfang der Verkohlung verrieth. Endlich versteht es sich, dass man durch stärkeres Erglühen des Drahtes stärkere Zuwachse erhält.

Nach diesen Vorbereitungen konnte ich mit Sicherheit zum eigentlichen Versuche schreiten. Mitten in einer regelmässigen Reihe wie die oben mitgetheilte, wurde jetzt der Gastroknemius möglichst stark und dauernd tetanisirt. Der Tetanus führt den Faden weit in die negative Scalenhälfte bis zu 250$^{sc}$. Mit der Zeit kommt ein Punkt, wo weder durch Verstärkung der Schläge, noch durch Hinabrücken mit den Thonspitzen am Nerven, der Faden in seiner auf- und abschwankenden negativen Ablenkung (s. oben S. 536) erhalten wird. Sein Sinken wird aber auch nicht beschleunigt dadurch, dass man zu tetanisiren aufhört. Es handelt sich also um schnell schwindende Nachwirkung. Bald wird das Sinken langsamer, zuletzt so langsam, dass es im Laufe von 5—10 Secunden kaum noch einem Compensatorgrad entspricht. Jetzt ist der Augenblick da. Man löst das Uhrwerk aus, und liest vor dem Eintauchen und nach dem Austauchen des Kupferbügels die Kraft ab. Stets findet sich der Zuwachs grösser als bei der letzten Verbrennung. Da man, um einen sicheren Vergleichspunkt zu gewinnen, immer erst mehrere Verbrennungen von unten nach oben zu vornimmt, ist die Zunahme des Zuwachses absolut nur klein. Sie ist aber relativ beträchtlich, denn meist erscheint der Zuwachs mehr als verdoppelt. Fährt man im Versuche fort, so zeigt sich oft auch der durch die folgenden Verbrennungen erzeugte Zuwachs vergrössert. Nebenstehende Tabelle giebt ein Bild solcher Versuche.

Diese Tabelle lehrt, dass es diesmal unmöglich ist, wie im Falle der Milchsäurescheibchen, die durch den Tetanus bewirkte Vergrösserung des Zuwachses allein auf Rechnung schwindender Nachwirkung zu bringen. Denn in Reihe I z. B. beträgt der Zuwachs durch die vierte, unmittelbar nach dem Tetanus vorgenommene, binnen höchstens 10 Secunden ihre Wirkung übende Verbrennung 12·6$^{cgr}$; der Zuwachs wegen schwindender Nachwirkung während der zwölfmal längeren Zeit bis zum Beginne der fünften Verbrennung nur 7·4. Da die Nachwirkung sinkt, wären freilich nicht $12 \times 12 \cdot 6 = 151 \cdot 2$$^{cgr}$ Zuwachs zu erwarten gewesen, wenn die erste Zunahme allein auf schwindender Nachwirkung beruhte, aber doch sicher eine grössere Zahl als 12·6, während eine kleinere beobachtet [146] wurde. Dieselbe Betrachtung kehrt in jedem einzelnen Falle wieder.

Ich bemühte mich, dem Versuch auch noch die Gestalt zu geben, dass ich bei compensirtem Strom am ruhenden Muskel die Ausschläge

| | Gastroknemius | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | I. | | II. | | III. | |
| Brand-strieme. | Ursprüngliche Kraft | Kraftzuwachs. | Ursprüngliche Kraft | Kraftzuwachs. | Ursprüngliche Kraft | Kraftzuwachs. |
| | +21·6 | | +80·5 | | +75·0 | |
| I. | | | | | | |
| | 29·5 . . . | +7·9 | 85·6 . . . | +5·1 | 84·8 . . . | +9·8 |
| | 29·3 | | 86·2 | | 83·8 | |
| II. | | | | | | |
| | 34·0 . . . | 4·7 | 90·0 | 3·8 | 91·3 | 7·5 |
| | 35·0 | | 89·3 | | 90·3 | |
| III. | | | | | | |
| | 40·0 . . . | 5·0 | 93·2 | 3·9 | 96·6 | 6·3 |
| | Tetanus. | | Tetanus. | | | |
| | 28·0 | | 55·5 | | 95·7 | |
| IV. | | | | | | |
| | 40·6 . . . | **12·6** | 64·0 | **8·5** | 102·0 | 6·3 |
| | | | | | Tetanus. | |
| | 48·0 | | 67·0 | | 64·6 | |
| V. | | | | | | |
| | 56·0 . . . | **8·0** | 70·5 | 3·5 | 73·0 | **8·4** |
| | Tetanus. | | | | | |
| | 50·0 | | 73·0 | | 78·6 | |
| VI. | | | | | | |
| | 58·3 . . . | **8·3** | 76·0 | 3·0 | 86·2 | **7·6** |
| | 61·0 | | | | | |
| VII. | | | | | | |
| | 66·3 . . . | **5·3** | | | | |

durch die Verbrennungen in Scalentheilen ablas, und auf der Höhe des Tetanus eine Verbrennung vornahm, welche einen grösseren Ausschlag liefern sollte. Ich stiess aber dabei auf die Schwierigkeit, dass ich den Muskel nicht stark genug spannen konnte, um ihn im Tetanus unbeweglich zu machen, weil dann die Brandstriemen unregelmässig klafften und der Muskel dort einriss. Durch die Gestaltveränderung beim Tetanus wurde der Draht in die Höhe geschnellt und kam an eine unrichtige Stelle zu liegen; suchte ich ihn erst während des Tetanus anzulegen, so verschob er sich bei dessen Nachlass. Ausserdem aber schien in den Versuchen, welche trotz diesen Schwierigkeiten einigermaassen gelangen, während des Tetanus die Verbrennung nicht gehörig auf Erhöhung der Stromkraft zu wirken. Dies macht auf einen weiteren Fehler des Versuchsplanes aufmerksam. Durch Herstellung künstlichen Querschnittes wächst die negative Schwankung, und der positive Zuwachs wegen aufgehobener Nachwirkung muss zum Theil dadurch aufgewogen werden.

## §. XXII. Einerleiheit von Parelektronomie und terminaler Nachwirkung und ihr gemeinsamer Ursprung aus der lebendigen Kraft der am Querschnitt brandenden Zuckungswelle werden wahrscheinlich gemacht.

Wie dem auch sei, die vorigen Versuche lassen keinen Zweifel daran, dass die terminale Nachwirkung mit der Parelektronomie in ihren wesentlichen Zügen übereinstimmt. Wie so oft, wenn man meint, etwas verstehe sich von selber, irrte ich mich also, als ich in der zweiten Abtheilung des zweiten Bandes meiner 'Untersuchungen' (S. 154) sagte: „Es versteht sich von selber, dass die Erscheinung der Nachwirkung des „Tetanus nichts zu schaffen hat mit dem parelektronomischen Zustande", und ebenda S. 157: „Die oben erwähnte Frage nach [147] der wahren „Bedeutung der Nachwirkung, ob sie beruhe auf einer Verminderung der „elektromotorischen Kraft des Muskels mit Ausschluss der parelektrono- „mischen Schicht, oder auf einer vorübergehenden Erhöhung der Kraft „dieser Schicht allein, ist zu Gunsten der ersteren Ansicht zu entschei- „den." Der erstere Ausspruch ist falsch, der zweite dahin zu ändern, dass beide darin aufgestellte Möglichkeiten in Wirklichkeit zugleich stattfinden; indem erstere Möglichkeit durch die innere, letztere durch die terminale Nachwirkung verwirklicht wird. Um dies sicher behaupten zu können, waren freilich noch zwei Jahrzehnde tiefgehender Forschung nöthig.

Jetzt kann die Frage nur noch sein, ob auch die gewöhnliche Parelektronomie, deren Ursprung uns bisher unbekannt war, als Nachwirkung während des Lebens geschehener Zusammenziehungen zu deuten sei. Von vorn herein erscheint diese Vorstellung gerechtfertigt. Der einzige Unterschied, den wir zwischen Nachwirkung und Parelektronomie noch kennen, besteht in grösserer Flüchtigkeit der Nachwirkung auf ihren höheren Stufen. Allein dieser Unterschied ist nur ein gradweiser. Wie schon gesagt, kommen alle möglichen Stufen der Nachwirkung bis zu solcher Höhe vor, dass der Strom gleichsam sich nicht aus der negativen Schwankung erholt.

Wenn es richtig ist, dass Parelektronomie nichts ist, als terminale Nachwirkung, so ist also jetzt die nächste Frage, warum unter Umständen die Nachwirkung nachhaltiger sei als sonst. Ursprünglich hielt ich bekanntlich die Kälte für Ursache der Parelektronomie, weil ich die Erscheinung zuerst an den Muskeln erkalteter Frösche wahrnahm, und weil Erkaltung lebender Frösche ein sicheres Mittel abgiebt, sie herbeizuführen. Es blieb aber räthselhaft, weshalb dies nicht auch mit aus-

geschnittenen Muskeln gelang. Als ich zu der neuen, hier mitgetheilten Einsicht gelangt war, durfte ich glauben, zugleich auf den Grund gestossen zu sein, weshalb es nicht gelinge, ausgeschnittene Muskeln durch Erkaltung parelektronomisch zu machen. Nichts schien klarer, als dass es in diesem Fall an den nöthigen Zusammenziehungen fehle. Ich hoffte aber nun, dass es mir an tief erkalteten Muskeln glücken würde, [148] die Nachwirkung regelmässig als Parelektronomie sich fixiren zu sehen.

Zuerst verfuhr ich nur wie gewöhnlich an Muskeln eiskalter Frösche. Als hier jeder auffallende Erfolg ausblieb, glaubte ich, dies liege vielleicht daran, dass die Muskeln zu warm wurden, bis ich sie in den Bussolkreis brachte und tetanisirte. Da ich nicht mit allen meinen Vorrichtungen in die Kälte mich begeben konnte, vergrub ich bei Winterkälte von 4—5° C. Frösche in Schnee, denen ich am Rücken ein Zinkelektrodenpaar angebracht hatte, und tetanisirte sie, dem Erfrieren nahe, zur Erschöpfung auf die früher von mir beschriebene Art (s. oben S. 27. 28). Jetzt musste es doch gleichgültig sein, ob die Muskeln im warmen Zimmer untersucht wurden, da der Aufenthalt der Muskeln in der Wärme an der einmal entstandenen Parelektronomie nichts ändert.[1] Allein auch so erhielt ich keinen ungewöhnlichen Grad von Parelektronomie. Der Einfluss der Kälte auf Entstehung der Parelektronomie erscheint überhaupt ganz dunkel, seit auch die Muskeln von Warmblütern parelektronomisch gefunden wurden.[2]

Die Ursache, weshalb unter gewissen Umständen die terminale Nachwirkung sich als Parelektronomie gleichsam fixirt, bleibt uns also vorläufig unbekannt. Dagegen lässt sich über die Entstehung der terminalen Nachwirkung selber eine Vermuthung aufstellen.

„Man kann sich . . . denken," sagte ich schon vor zwölf Jahren in der Abhandlung 'Ueber das Gesetz des Muskelstromes', „dass „gewisse Vorgänge, die sich bei der Verkürzung von der gereizten Stelle „im Muskelbündel fortpflanzen, in dessen Verlaufe keine Spur hinterlassen, „weil in jeder Querscheibe die Störung auf Kosten der folgenden Scheibe „sich [149] ausgleicht, dass aber am Ende des Bündels eine veränderte „Anordnung hinterbleibt, weil hier die Möglichkeit jener Ausgleichung „fehlt".[3]

Bei Betrachtung der in der Muskelfaser fortschreitenden Zuckungswelle muss man in der That fragen, was denn aus ihr werde, wenn sie

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 135. 136.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 123. — Vergl. oben S. 395.

[3] S. oben S. 167. 168. — Ueber den Sinn, in welchem das Wort „Querscheibe" hier genommen ist, vergl. oben S. 164. Anm 1.

an's Faserende gelangt. Zurückgeworfen wird sie nicht, sondern Welle um Welle erlischt scheinbar spurlos am Muskelquerschnitt. Die in diesen brandenden Wellen enthaltene lebendige Kraft kann nicht verschwinden. Hr. BERNSTEIN neigt zur Annahme, dass sie Wärme werde.[1] Es ist aber gewiss erlaubt, sich zu denken, dass ein Theil davon dazu verwendet werde, in der contractilen Substanz die veränderte Anordnung zu erzeugen, von welcher die terminale Nachwirkung Kunde giebt.

Doch bleibt zu erklären, warum bei künstlichem Querschnitte keine terminale Nachwirkung auftritt. Die Antwort liegt nahe: deshalb nicht, weil die am künstlichen Querschnitt entstehende parelektronomische Schicht sogleich wieder zerstört wird. Die terminale Nachwirkung lässt sich, wie die Parelektronomie, darauf zurückführen, dass am Querschnitt eine einfache Lage dipolar elektromotorischer Molekeln positive Pole nach aussen kehrt. Wird diese Lage in der Entstehung zerstört, so kommt keine terminale Nachwirkung zu Stande. An einem Grunde für die Zerstörung fehlt es am künstlichen Querschnitte nicht. Er liegt in der dort entstehenden Säure. Aeltere Querschnitte ätzen den Achillesspiegel an, denn dadurch ward ich auf die Säurebildung im absterbenden Muskel geführt.[2] Frische mechanische Querschnitte freilich ätzen den Achillesspiegel minder stark an, doch sieht man die Kraft eines aufliegenden Muskels wegen der Verunreinigung des Thonschildes mit Säure alsbald steigen (s. oben S. 198 ff.), und zudem gehört mehr Säure [150] dazu, um durch den sehnigen Ueberzug die Muskelsubstanz anzugreifen, als um eine an die gesäuerte Schicht stossende Molekellage unwirksam zu machen.

Im Falle chemischen Querschnittes könnte man sich auch auf die ätzende Flüssigkeit berufen wollen, welche den Querschnitt erzeugte; allein dies ist weder nöthig noch richtig, da unstreitig die lebende Muskelsubstanz von der eindringenden ätzenden Flüssigkeit stets durch eine Schicht abgestorbener Substanz getrennt bleibt, deren Säure hinreicht, die in ihrer nächsten Nähe entstehende parelektronomische Schicht zu zerstören. Selbst wenn die ätzende Flüssigkeit alkalisch ist, dürfte dies der Vorgang sein.

Der vom künstlichen Querschnitt aus fortschreitende Tod des Muskels wäre also Ursache, dass dort keine terminale Nachwirkung zu Stande kommt. Wie langsam er auch fortrücke, sein Fortschritt wäre schnell genug, um die im Tetanus stets an der Demarcationsfläche sich erneuernde

---

[1] Untersuchungen über den Erregungsvorgang u. s. w. Heidelberg 1871. S. 155. 156.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 83 ff.; — vergl. oben S. 7.

verkehrt wirkende Molekellage gleichsam *in statu nascenti* zu vernichten.

Am Sartorius und Cutaneus femoris besteht nicht selten Parelektronomie fort, nachdem ein Stück vom Muskelende abgetragen ward.[1] Hier giebt es eine parelektronomische Strecke, von der nur die dem Schnitte nächste Schicht dem Angriffe sogleich ausgesetzt wird. Es wäre der Mühe werth zu prüfen, ob nicht auch innerhalb dieser Strecke terminale Nachwirkung sich entwickele, und ob nicht die negative Schwankung des von solchem künstlichen Querschnitt abgeleiteten Stromes etwas vom Charakter der Schwankung bei natürlichem Querschnitt habe.

Ueber Nachwirkung am Nerven ist nichts bekannt. Sollte am künstlichen Nervenquerschnitt keine terminale Nachwirkung sich finden, obschon im absterbenden Nerven keine Säure entsteht (s. oben S. 538), so brauchte man deshalb die Vorstellung noch nicht aufzugeben, dass die Säurebildung die terminale Nachwirkung am künstlichen Muskelquerschnitt verhindert. [151] Zwar dürfte man sich nicht darauf berufen, dass vielleicht die Innervationswelle eine geringere Summe lebendiger Kräfte vorstellt, als die Contractionswelle. Denn die negative Schwankung ist am Nerven verhältnissmässig bedeutender, als am Muskel. Nicht bloss beträgt die negative Schwankung am Nerven ein Vielfaches der ursprünglichen Kraft (s. oben S. 518), sondern diese selber übertrifft wahrscheinlich die ursprüngliche Kraft des Muskels (s. oben S. 250). Allein auch am Nerven schreitet der Tod vom Querschnitt aus fort, so dass auch ohne Säurung ein verderblicher Einfluss der Querschnittsnähe stattfindet. Aus demselben Grunde wäre wohl kaum zu erwarten, dass am künstlichen Querschnitt erkalteter Muskeln terminale Nachwirkung sich zeige, wo auch keine Säure entsteht (s. oben S. 22).

Ueber Parelektronomie und terminale Nachwirkung am Nerven würde man vielleicht an vernarbten centralen Stümpfen von Muskelnerven etwas erfahren.

## §. XXIII. Von der Rolle, welche die terminale Nachwirkung bei der negativen Schwankung des Muskelstromes im Tetanus spielt.

Nun erst sind wir im Stande, in den Erörterungen des XIX. Paragraphen mit gehöriger Einsicht fortzufahren. Es fragt sich nämlich, ob bei Berücksichtigung der terminalen Nachwirkung die dort gezogenen

---

[1] S. oben S. 166. 194. Anm. 1.

Schlüsse in Kraft bleiben. Die terminale Nachwirkung scheint bei der Schwankung in doppelter Art berücksichtigt werden zu müssen. Erstens summirt sich ihre negative Kraft in jedem Augenblick algebraisch zu der in demselben Augenblicke bestehenden Kraft des schwankenden Stromes. Zweitens muss jene negative Kraft, wenn wirklich terminale Nachwirkung und Parelektronomie einerlei sind, an der Schwankung in gleichem Maass sich betheiligen, wie die schon vorhandene negative Kraft der parelektronomischen Strecke.

[152] Um dies in unsere Formeln aufzunehmen, vernachlässigen wir zunächst die innere Nachwirkung und die Ermüdung. Die terminale Nachwirkung, die in den Erörterungen dieses Paragraphen schlechthin Nachwirkung heisst, schreiben wir als Function der Zeit $N_{(t)}$. Der Tetanus beginne zur Zeit $t = 0$. Dann ist $N_{(t)}$ Null für $t = 0$; es wächst mit $t$ nach unbekanntem Gesetze, vermuthlich in einer gegen die Abscissenaxe concaven Curve, welche sich einer dieser Axe parallelen Geraden asymptotisch anschliesst. Ueber die Ordinate dieser Geraden wissen wir wenig Sicheres. Wir können nur aussagen, dass sie vermuthlich mit $P$ wächst, dass sie stets viel $< P$ ist, und dass bei Beseitigung von $P$ auch $N_{(t)}$ zu bestehen aufhört.

Zur Zeit $t_{,}$ ist

$$U_t = aM - \alpha(P + N_{(t_{,})})$$
$$U_\varrho - U_\tau = (1 - a)M - (1 - \alpha)P + \alpha . N_{(t_{,})} .$$

Wir haben nun, wie wir im §. XIX ohne Berücksichtigung der Nachwirkung thaten, nacheinander $\alpha = 1$, $= a$ und $> a$ zu setzen und zu untersuchen, wie nach Hinzufügen des die Nachwirkung vorstellenden Termen unsere Ausdrücke mit dem Thatbestande stimmen. Dabei ist aber jetzt zu bedenken, dass 1. durch Hinzufügen jenes Termen $U_\tau$ Function der Zeit ward; 2. mit $P$ stets zugleich $N_{(t_{,})} = 0$ zu setzen ist, nicht aber umgekehrt, oder wenigstens nicht im Falle, wo $N_{(t_{,})}$ durch $t_{,} = 0$ verschwindet.

Die gesuchte Uebereinstimmung wird demnach analytisch darin sich äussern, dass 1. $U_\varrho - U_\tau$ stets, auch für jeden Werth von $t_{,}$, positiv bleibt; 2. $U_\varrho - U_\tau$ durch Nullsetzen von $P$ und $N$ absolut wächst; 3. eben dadurch das Verhältniss $U_\varrho - U_\tau : U_\varrho$ abnimmt.

I. $\alpha = 1$

bedeutet, wie man sich erinnert, Nichtbetheiligung der negativen Kraft der parelektronomischen Strecke an der Schwankung. Auch die Kraft der Nachwirkung wäre nach unseren jetzigen Annahmen der Schwankung entzogen. $\alpha = 1$ macht für $t = t_{,}$

$$U_\varrho - U_\tau = (1 - a)M + \alpha . N_{(t_{,})} .$$

[153] $(1-a)M$ ist auch ohne den die Nachwirkung vorstellenden Termen stets positiv, vollends mit diesem Termen für jeden Werth von $t_,$. Auch nimmt das Verhältniss

$$\frac{(1-a)M+\alpha.N_{(t_,)}}{M-P}$$

durch Nullsetzen von $P$ und $N$ unter allen Umständen ab, da der Nenner vergrössert, der Zähler für jeden Werth von $t_, > 0$ verkleinert wird. Dagegen nimmt $(1-a)M+\alpha.N_{(t_,)}$ für jeden solchen Werth von $t_,$ ab, statt zu, wenn $N_{(t_,)}$ vernichtet wird; für $t_, = 0$ bleibt der Ausdruck constant. Die Annahme $\alpha = 1$ ist daher unzulässig.

II. $\alpha = a$

bedeutet, dass die negative Kraft der parelektronomischen Strecke, wie auch die der Nachwirkung, in gleichem Maasse schwankt, wie die positive Kraft des Gesammtmuskels. Diese Voraussetzung, von allen die natürlichste, mussten wir im §. XIX. aufgeben, weil dabei die Schwankung dem ursprünglichen Strome stets proportional wurde, d. h. klein bei kleinem positiven Unterschiede $M-P$, Null an dem wegen Parelektronomie stromlosen, absolut positiv an dem aus demselben Grunde negativ wirksamen Muskel. Auch blieb das Verhältniss der Schwankung zum Strom in der Ruhe bei künstlichem Querschnitt dasselbe, wie bei natürlichem.

Jetzt stellen sich beim ersten Blicke die Aussichten für diese Annahme günstiger. Durch die Nachwirkung wird die Proportionalität zwischen Schwankung und ursprünglichem Strom aufgehoben, aus welcher die der Wirklichkeit widersprechenden Folgen der Annahme entsprangen. Man hat für $t = t_,$

$$U_\varrho - U_\tau = (1-a)(M-P) + \alpha.N_{(t_,)}.$$

Ist also $M-P$ sehr klein, oder Null, so erschiene doch, durch Nachwirkung vorgespiegelt, negative Schwankung in ausreichender Grösse. Durch Nullsetzen von $P$ und $N$ wüchse die Schwankung absolut, so lange

$$\frac{N_{(t_,)}}{P} < \frac{1-a}{a}$$

[154] oder $<$ als $^2/_3$ für $a = 0 \cdot 6$. Wir haben keinen Grund, anzunehmen, dass dies Verhältniss je überschritten werde.

Man hat sodann

$$\frac{(1-a)(M-P)+\alpha.N_{(t_,)}}{M-P} < \frac{(1-a)M}{M}$$

für $M \geqq P$.

Weiter aber geht die Uebereinstimmung der neuen Ausdrücke mit

den Thatsachen nicht. Für $M < P$ wird die linke Seite letzterer Ungleichheit die kleinere. Auch ist für $P > M$

$$(1 - a)(M - P) + \alpha . N_{(t_,)} > 0$$

nur so lange wie

$$\alpha . N_{(t_,)} > (1 - a)(M - P),$$

also negativ für kleine Werthe von $t_,$; d. h. der absolut negativen Schwankung, welche bei hinlänglicher Dauer des Tetanus dadurch vorgespiegelt würde, dass die Nachwirkung die absolut positive Schwankung übercompensirte, ginge ein absolut positiver Ausschlag voraus.

Aber noch aus anderen Gründen ist die Schwankung bei $M =$ oder wenig $> P$ nicht bloss durch Nachwirkung zu erklären. Zwar nicht deshalb, weil dabei keine secundäre Zuckung stattfinden könnte. Denn um diese zu rechtfertigen, genügte, wie schon bemerkt (s. oben S. 535), die kleinste Ungleichzeitigkeit in der Zusammenziehung der verschiedenen Theile des Muskels. Allein die Erscheinungen am Rheotom lassen jene Auslegung nicht zu. Hier sieht man die Schwankung im Latenzstadium auftreten, und es ist überhaupt keine Nachwirkung nachweisbar.[1] Ebenso zeigt sich die Schwankung bei Einzelzuckungen, wo noch weniger daran zu denken ist, sie bloss auf Nachwirkung zurückzuführen.

### III. $1 > \alpha > a$.

Sehen wir nun zu, wie die Dinge bei der Annahme $1 > \alpha > a$ sich gestalten, welche schon ohne Berücksichtigung der Nachwirkung am besten den Thatsachen sich anschloss. Wie man sich entsinnt, bedeutet diese Annahme, dass die negative Kraft der parelektronomischen Strecke, zu der wir jetzt auch die der Nachwirkung rechnen, zwar an der Schwankung [155] sich betheiligt, doch in geringerem Maass als die positive Kraft des Gesammtmuskels. Setzen wir wieder (s. oben S. 535) $\alpha = na$, wo $n > 1$, so hat man für $t = t_,$

$$U_\varrho - U_\tau = (1 - a)M - (1 - na)P + na . N_{(t_,)}.$$

Dieser Werth ist wohl stets positiv, denn er ist es, so lange

$$\frac{M}{P} + \frac{na \cdot N_{(t_,)}}{(1 - a)P} > \frac{1 - na}{1 - a} \cdots\cdots (*)$$

Wir sahen aber schon S. 535, dass auch ohne den links hinzugekommenen, die Nachwirkung vorstellenden Termen diese Ungleichheit immer erfüllt sein wird, sobald für $P < 1 \cdot 5\,M$ und $a > 0 \cdot 6$, $n > \frac{11}{9}$. Jetzt

[1] S. oben S. 452. 462. 463. 530. 531.

wird $n$ wegen jenes Termen sogar noch kleiner sein können. Vernichtung von $P$ und $N$ verkleinert sodann das Verhältniss

$$\frac{(1-a)M-(1-na)P+na\cdot N_{(t,)}}{M-P},$$

denn wegen $n>1$ hat man

$$(n-1)P+n\cdot N_{(t,)}>0.$$

Endlich Vernichtung von $P$ und $N$ vergrössert absolut die Schwankung, so lange $na\cdot N_{(t,)}<(1-na)P$, d. h. wieder so lange (s. oben S. 555) wie $\frac{N_{(t,)}}{P}<\frac{2}{3}$.

Man sieht, dass die Annahme $\alpha > a$ bei Berücksichtigung der Nachwirkung abermals am besten besteht, noch besser als ohne deren Berücksichtigung, denn sie führt zu einem der Null gleichen oder absolut positiven Ausschlag unter gewissen Bedingungen später als ohne Nachwirkung. Sie verträgt sich, wie kaum bemerkt zu werden braucht, mit den Beobachtungen am Rheotom und mit dem Auftreten von Einzelschwankungen.

Wenn wir im Vorigen die Kraft der Nachwirkung sogleich wieder an der Schwankung sich betheiligen liessen, so ist übrigens diese Voraussetzung nicht so aufzufassen, als werde dadurch die Uebereinstimmung unserer Formeln mit der Wirklichkeit bedingt, sondern so, dass auch bei jener Voraussetzung diese Uebereinstimmung stattfinde. Man kann in den Formeln den Coefficienten $na$ in dem die Nachwirkung ausdrückenden Termen $=1$ setzen, ohne dass die Formeln aufhören, im Allgemeinen so gut wie früher der Wirklichkeit zu entsprechen.

[156] Wir haben bisher innere Nachwirkung und Ermüdung vernachlässigt. Es fragt sich, wie bei deren Berücksichtigung die Dinge sich gestalten. Beide würden in unseren Formeln als von der Zeit abhängige Coefficienten einzuführen sein. Es wäre besonders zu erwägen, ob die innere Nachwirkung (von der Ermüdung scheint dies nicht zweifelhaft) auch die Kräfte der parelektronomischen Strecke ergreife oder nicht. Doch wollen wir diese weiteren Verwickelungen und feineren Züge der Erscheinung vorläufig bei Seite lassen. Die innere Nachwirkung im Vergleich zur terminalen Nachwirkung ist namentlich bei kürzerer Dauer des Tetanus so unbedeutend, dass unsere Schlüsse durch deren Berücksichtigung kaum eine Aenderung erleiden würden. Auf eine aus dem Thatbestande sich ergebende bestimmte Grössenbeziehung zwischen innerer Nachwirkung und Ermüdung kommen wir noch zurück.

Wir halten uns also für berechtigt, bis auf Weiteres von der An-

nahme $\alpha > a$ auszugehen, und unsere Vorstellung vom Hergange bei der Schwankung des vom natürlichen Querschnitt abgeleiteten Stromes gestaltet sich folgendermaassen.

Während die terminale Nachwirkung wächst, und einen Zuwachs der negativen Kraft der parelektronomischen Strecke vorstellt, bekämpfen einander zwei relativ negative Schwankungen: 1. die auch absolut negative Schwankung der positiven Kraft des Gesammtmuskels; 2. die absolut positive Schwankung der negativen Kraft der parelektronomischen Strecke und der Nachwirkung. Die absolut positive Schwankung ist im Vergleich zur ursprünglichen Kraft die geringere, daher die absolut relative Schwankung in der Regel (s. unten) die Oberhand hat. Die so resultirende Schwankung ist nothwendig absolut kleiner als die negative Schwankung bei künstlichem Querschnitt, ja es sind Fälle anzunehmen, in welchen der grösste Theil der sich kundgebenden Schwankung nur Nachwirkung ist.

Es scheint sich aber so zugleich eine einfache Erklärung zu ergeben für den eigenthümlichen Verlauf der Schwankung bei natürlichem Querschnitte, für deren stockenden, ja von Rückschritten unterbrochenen Gang. Zu dieser Erklärung [157] stehen uns jetzt sogar zwei Mittel zu Gebote. Man kann sich erstens denken, dass $n$ nicht constant sei, sondern auf und ab schwanke. Man kann sich zweitens denken, dass einer gewissen Grösse der Nachwirkung ein Zustand labilen Gleichgewichtes entspreche, und dass sie dann leicht auf einen geringeren Werth zurückspringe, von dem aus sie langsamer wieder anwachse, etwa wie die Polarisation beim Erschüttern der Elektroden.[1] Auch könnte beides zu gleicher Zeit stattfinden.

Die innere Wahrscheinlichkeit beider Annahmen ist indess gering. Es widerspricht der Ermüdung, dass die negative Schwankung der parelektronomischen Kräfte zeitweise wieder an Stärke zunehmen soll, und die Annahme, dass die terminale Nachwirkung einem Zustande labilen Gleichgewichtes entspreche, passt schlecht zur Dauerbarkeit der Parelektronomie, die mit ihr einerlei sein soll.

Es wäre nutzlos, neue Vermuthungen zu ersinnen, um diesen Schwierigkeiten zu begegnen, und das Gerathenste wird sein, durch fortgesetzte Versuche weiteren thatsächlichen Boden zu erwerben.

Wenn der Strom sich aus der terminalen Nachwirkung nicht erholt, sondern dauernd kleiner, ja verkehrt bleibt, und bei erneutem Tetanus nur sehr geringe absolut negative Schwankung entsteht, obschon der Muskel sich noch gut zusammenzieht, so ist dies wohl dahin zu deuten,

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 212.

dass dann auch der erste negative Ausschlag wesentlich nur durch die sich entwickelnde und als Parelektronomie fixirende Nachwirkung bedingt war, und eine eigentliche Schwankung fehlte, weil die Ungleichheit (*) (oben S. 556) sich nicht erfüllt fand, sondern deren Unterschied fast Null war.

Sollte bei Tetanus eines mit natürlichem Querschnitt aufliegenden regelmässigen Muskels künftig einmal im ersten Augenblick absolut positiver Ausschlag erfolgen, so wäre darin nicht etwa eine unerhörte Ausnahme von dem Satz zu sehen, dass negative Schwankung die Zusammenziehung begleitet. Sondern diese Erscheinung würde zunächst so auszulegen sein, dass die oben [158] S. 556 angegebenen Bedingungen für $U_\varrho - U_\tau > 0$ nicht erfüllt waren. Ich lege Gewicht hierauf, weil ich im Laufe meiner zahlreichen Versuche einige Mal beim Tetanisiren des mit Aequator und unterem sehnigen Ende aufliegenden Sartorius zuerst positive, dann negative Wirkung erhielt, was mir damals räthselhaft blieb. Nach Willkür experimentiren lässt sich hierüber so wenig, wie über die ganz in Parelektronomie sich verwandelnde Nachwirkung (s. oben S. 542). Man muss warten, bis Einem gelegentlich solch ein Fall begegnet, eine Sachlage, welche planmässiger Erforschung so ungünstig wie möglich ist.

In der ersten Abtheilung, S. 462, erwogen wir die Möglichkeit, den Unterschied zwischen den Zeichen der Schwankung des Gastroknemiusstromes bei unvollkommenem und bei vollkommenem Tetanus aus der nur bei letzterem sich entwickelnden Nachwirkung zu erklären. Jetzt braucht kaum bemerkt zu werden, was damals noch nicht gesagt werden konnte, dass mit Nachwirkung dort die terminale gemeint war.

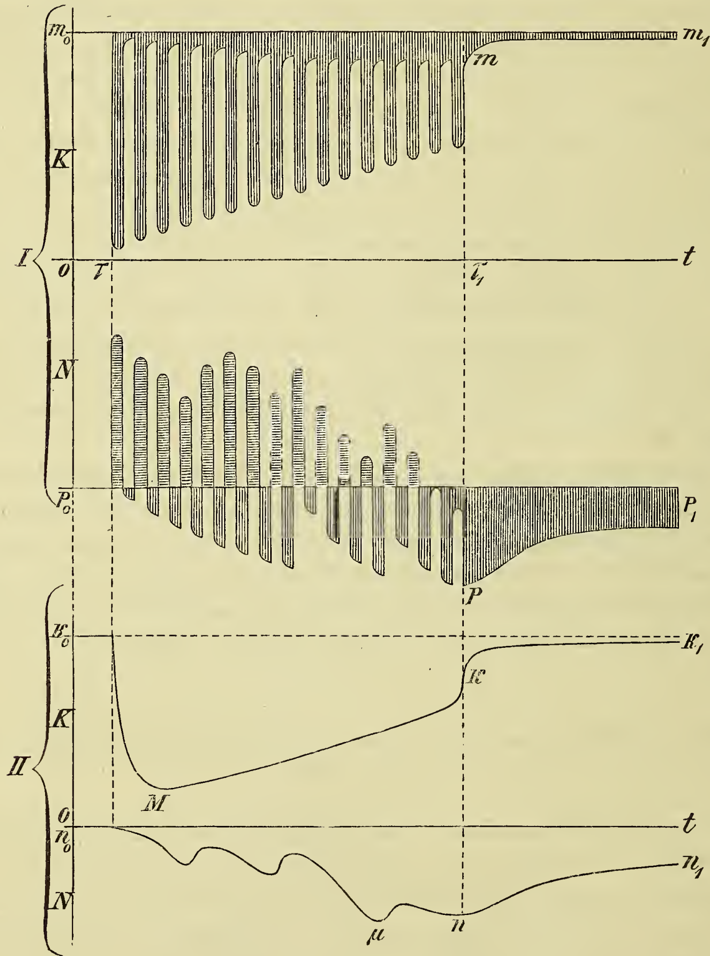
## §. XXIV. Graphische Darstellung des elektrischen Vorganges im Tetanus.

Fig. 40 ist die graphische Darstellung der im vorigen Paragraphen entwickelten Vorstellung vom elektrischen Vorgang im Tetanus. Sie ist abermals eine weitere Entwickelung der ursprünglichen in meinen 'Untersuchungen' gegebenen Figur, welche den Verlauf des Muskelstromes im Tetanus erläuterte, soweit er damals bekannt war.[1] Zuerst zeigte diese Figur nur die Ktenoide mit abwärts gerichteten Zähnen von verschiedener Länge in verschiedenen Abschnitten, um zu verdeutlichen, wie der Abnahme der Stromstärke im Tetanus, sobald diese Abnahme nicht

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. I. Taf. I. Fig. 89. S. 91. 121.

stetig sei, verschiedene Länge der Zähne entsprechen könne (vergl. oben S. 485). Als ich später die Nachwirkung fand, wiederholte ich dieselbe Figur mit dem Unterschiede, dass die Länge der Zähne unbestimmt blieb, die Ktenoide aber, um die mit der Dauer des Tetanus zunehmende

Fig. 40.




[159] Nachwirkung darzustellen, zwischen je zwei Zähnen immer weniger hoch wieder emporstieg. Mit wachsender Dauer des Tetanus wurde gleichsam der Rücken des Kammes höher.[1]

---

[1] A. a. O. Bd. II. Abth. II. Taf. V. Fig. 145. S. 157.

Jetzt liegt uns ob, in die Figur auch noch die nun erkannte Schwankung der parelektronomischen Kraft aufzunehmen, [160] und die innere von der terminalen Nachwirkung zu scheiden. Dies geschieht folgendermaassen.

In den beiden Abschnitten I. und II. der Fig. 40 stellen die Abscissenaxen $0t$ die Zeit vor. Die Abscissenwerthe sind dieselben. Bei $\tau$ fängt Tetanisiren an, bei $\tau_{,}$ ist die letzte Einzelschwankung abgelaufen, In I. $K$ sieht man die Einzelschwankungen der Kraft bei künstlichem Querschnitt, in I. $N$ die Einzelschwankungen der parelektronomischen Kraft und der terminalen Nachwirkung, in II. $K$ die Gesammtschwankung bei künstlichem, in II. $N$ die Gesammtschwankung bei natürlichem Querschnitte, wie diese Schwankungen an der aperiodischen Bussole mit leichtem Spiegel sich darstellen. Wir betrachten zuerst Abtheilung I. in ihren beiden Unterabtheilungen $K$ und $N$.

Die in I. $K$ über der Axe verlaufende Curve $m_0 m m_1$ ist die der Kraft des Muskels im Tetanus bei künstlichem Querschnitt. Sie unterscheidet sich von der zuletzt von mir in den 'Untersuchungen' a. a. O. gegebenen Curve dadurch, dass jetzt die Ktenoidenzähne, deren Länge dort unbestimmt blieb, bestimmte Länge erhielten. Wir lassen den ersten Zahn sich der Axe nähern, nicht aber sie erreichen. Wenn nämlich auch die Einzelschwankung gewöhnlich die Axe erreichte, was nicht der Fall ist, dürften wir vorläufig doch der Polarisation halber diesem Verhalten keine wesentliche Bedeutung beilegen, sondern müssten darin ein zufälliges Zusammentreffen sehen (s. oben S. 516).

Die Länge der Ktenoidenzähne nimmt mit wachsender Dauer des Tetanus wegen der Ermüdung schnell ab: denn trotz der wachsenden inneren Nachwirkung führt Tetanus bei künstlichem Querschnitte nicht zu beständiger Ablenkung (s. oben S. 412). Die Zahnlänge muss folglich so schnell abnehmen, dass die Verkürzung der Zähne die Schwächung des Stromes in den Intervallen zwischen den Zähnen übercompensirt (vergl. oben S. 557). Das Gesetz, wonach die Abnahme geschieht, ist uns unbekannt; in Ermangelung einer einigermaassen berechtigten Vermuthung darüber ist es in der Figur als linear angenommen.

[161] Zwischen je zwei Zähnen steigt die Curve immer weniger hoch empor. Dadurch stellen wir jetzt ausschliesslich die in der Masse des Muskels stattfindende innere Nachwirkung vor. Da die innere Nachwirkung vermuthlich einem oberen Grenzwerth asymptotisch zustrebt, zeichnen wir die Curve ihres Wachsthumes einstweilen convex gegen die Abscissenaxe. Nach Aufhören des Tetanus nimmt die Nachwirkung zuerst schneller, dann langsamer, also in einer gegen die Axe concaven Curve

ab. Vollkommen erholt sich an dem des Kreislaufes beraubten Muskel die Kraft wohl nie.

Am besten betrachten wir nun sogleich den Abschnitt II. *K* der Figur, der den Verlauf der Gesammtschwankung bei künstlichem Querschnitte zeigt. Die Curve $k_0 k k_1$ steht zur Curve $m_0 m m_1$ in folgender Beziehung.

Der zwischen ihr und der Geraden $k_0 k_1$ begriffene Flächenraum ist (der Idee nach) gleich dem Flächenraume zwischen der Curve $m_0 m m_1$ und der Geraden $m_0 m_1$, und diese Gleichheit der Flächenräume besteht auch zwischen je zwei Ordinaten, deren Abscissenunterschied nicht unter eine gewisse Grösse sinkt, welche um so kleiner ist, je kleiner die Beruhigungszeit des Magnetspiegels.[1] Denn wäre letztere kleiner, als ein gewisser sehr kleiner Werth, so würde der Spiegel die Einzelschwankungen unverändert mitmachen. Man bemerkt an der Curve der Gesammtschwankung den stetigen Gang; das schnell nach Beginn des Tetanus eintretende Minimum *M*, auf dessen absolute Grösse wir noch zurückkommen; das darauf folgende Wiederansteigen der Kraft, dadurch bedingt, dass der durch die Ktenoidenzähne bedeckte Flächenraum schneller abnimmt, als die innere Nachwirkung wächst; das plötzliche Ansteigen bei Aufhören des Tetanus; endlich die verhältnissmässig geringe innere Nachwirkung.

Die bei I. *N* unter der Axe verlaufende Curve $p_0 p p_1$ ist die der negativen Kraft der parelektronomischen Schwankung im Tetanus nach unserer jetzigen Anschauung. Um der Vorstellung einen Anhalt zu geben, ist $0 p_0 = 0 m_0$ gemacht, d. h. [162] der ruhende Muskel ist als stromlos wegen Parelektronomie angenommen. Bei Beginn des Tetanus geht auch die Curve $p_0 p p_1$ in eine Ktenoide über, die zum Unterschiede von der zuerst betrachteten positiven die negative Ktenoide heissen soll. Die Zähne der negativen Ktenoide haben mit denen der positiven Ktenoide gleiche Abscissen, sind aber aufwärts gerichtet. Die Zähne beider Ktenoiden liegen somit im Allgemeinen symmetrisch zur Abscissenaxe. Sie unterscheiden sich aber von einander durch ihre Länge und durch das Gesetz, wonach die Höhe ihres Ursprunges mit der Dauer des Tetanus sich ändert.

Die negativen Zähne sind verhältnissmässig, also für $0 p_0 = 0 m_0$ auch absolut, kürzer als die positiven, weil die negative Kraft der parelektronomischen Strecke an der Schwankung weniger sich betheiligt, als die positive Kraft des Gesammtmuskels (s. oben S. 556 ff.).

---

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 308.

Beispielsweise ist in der Figur der erste negative Zahn $^2/_3$ mal so lang gemacht, wie der erste positive.

Während als Ausdruck der inneren Nachwirkung die positive Ktenoide zwischen je zwei Zähnen immer weniger hoch emporsteigt, steigt als Ausdruck der terminalen Nachwirkung die negative Ktenoide zwischen je zwei Zähnen im Allgemeinen immer tiefer hinab. Die positiven Zähne entspringen aus immer geringerer Höhe über, die negativen im Allgemeinen aus immer grösserer Tiefe unter der Abscissenaxe. Weil aber die terminale Nachwirkung die innere Nachwirkung übertrifft, so ändert sich die Höhe, aus der die Zähne entspringen, für die negative schneller als für die positive Ktenoide. Hört der Tetanus auf, so ist die Kraft der parelektronomischen Strecke vergrössert um die der terminalen Nachwirkung, welche in einer gegen die Abscissenaxe zuerst vielleicht concaven, dann convexen Curve sehr allmählich abnimmt.

Bisher sind wir unserer Sache ziemlich gewiss. Von jetzt ab wird Alles hypothetisch, indem es der Möglichkeiten, durch welche wir die Erscheinungen formell erklären können, mehrere giebt, aber kein Mittel, dazwischen zu entscheiden.

Es fragt sich nämlich jetzt, wie lang die folgenden negativen Zähne zu machen seien, und wohin wir ihren Ursprung [163] zu verlegen haben. Wir stellten oben S. 554 als wahrscheinlich hin, dass die eben erst entstandene Kraft der Nachwirkung alsbald in demselben Maasse wie die der parelektronomischen Strecke die Schwankung mitmache. Danach könnten wir unter der Voraussetzung, dass wir das Gesetz kennten, nach welchem die terminale Nachwirkung wächst, über die Länge eines beliebigen negativen Zahnes wohl etwas aussagen. Denn sei $\mathfrak{n}$ das Verhältniss der Länge des ersten negativen zu der des ersten positiven Zahnes (also in unserer Figur $\mathfrak{n} = {}^2/_3$), was wir so ausdrücken wollen:

$$L_{-1} = \mathfrak{n} \cdot L_{+1},$$

so hätte man, bei rechteckigen Ktenoidenzähnen (s. oben S. 510. 517), allgemein die Länge des $\nu$ten negativen Zahnes

$$L_{-\nu} = \frac{\mathfrak{n} \cdot L_{+\nu}(P + N_{(t_\prime)})}{M},$$

wo $t_\prime$ die Abscisse des Zahnes bedeutet.

Allein eine Menge Umstände widersetzt sich einer so einfachen Schlussfolge. Wegen der Ermüdung und der inneren Nachwirkung wissen wir nicht, wie wir die Länge $L_{+\nu}$ zu nehmen, und was zur Zeit $t_\prime$ als Kraft $M$ des ruhenden Muskels anzusehen sei. Unstreitig ermüdet, um uns so auszudrücken, die parelektronomische Strecke; ob auch der ihr

eben in Gestalt terminaler Nachwirkung gewordene Kraftzuwachs, wissen wir nicht. Sodann stellten wir schon oben S. 558 Vermuthungen auf, um den eigenthümlichen Gang der Schwankung bei natürlichem Querschnitte zu erklären. Wir nahmen an, dass entweder $n$ schwanke, mit welchem bei rechteckigen Ktenoidenzähnen $\mathfrak{n}$ durch folgende Relation verknüpft sein würde:

$$n = \frac{RP + T(P - \mathfrak{n}L)}{RM + T(M - L)};$$

oder dass die terminale Nachwirkung zu einem labilen Zustande führe, und ihre Kraft plötzlich auf einen geringeren Werth zurückspringe, womit denn auch wieder Abnahme der negativen Zahnlänge verbunden sein würde. Es fehlte nicht an Einwänden gegen beide Annahmen; wie die Sachen stehen, haben wir keine besseren, und ich habe den betreffenden Theil der Figur deshalb nach folgendem Princip entworfen.

[164] Die ersten vier Zähne entspringen aus immer grösserer Tiefe, was die schnell wachsende terminale Nachwirkung versinnlicht. Sie nehmen wegen Ermüdung an Länge ab, jedoch langsamer als die Ktenoidenzähne, vielleicht weil dieser Abnahme die Zunahme entgegenwirkt, welche aus der Betheiligung der Nachwirkung an der Schwankung entspringt. Vom fünften bis achten Zahn habe ich $\mathfrak{n}$ grösser genommen, um zu zeigen, wie solche Schwankung von $\mathfrak{n}$ Stillstand, ja Abnahme der Gesammtschwankung bei natürlichem Querschnitt bedinge. Beim achten Zahne springt die bisher stetig wachsende terminale Nachwirkung auf einen geringeren Werth zurück, und es wird so die andere Art veranschaulicht, wie der Gang der Gesammtschwankung bei natürlichem Querschnitt erklärlich würde. Dasselbe wiederholt sich nochmals beim zwölften Zahn.

Schliesslich ist in II. $N$ die Gesammtschwankung bei natürlichem Querschnitt schematisch dargestellt. Da der Muskel als in der Ruhe stromlos gedacht ist, können wir die Curve der Schwankung $n_0 n n_1$ bei natürlichem Querschnitt unter derselben Abscissenaxe auftragen, über welcher wir die Schwankung bei künstlichem Querschnitt auftrugen. Um die Entstehung der Curve $n_0 n n_1$ zu begreifen, denke man sich zuerst eine Curve, deren Ordinaten die algebraische Summe der Ordinaten der beiden Curven $m_0 m m_1$, $p_0 p p_1$ seien. Dann steht Curve $n_0 n n_1$ zu jener resultirenden Curve in derselben Beziehung, wie Curve $k_0 k k_1$ zu Curve $m_0 m m_1$. Es würde aber nichts zur Deutlichkeit beitragen, wollten wir die resultirende Curve selber entwerfen. Es handelt sich nur darum, einsichtlich zu machen, wie, durch Hinzutreten der parelektronomischen Kraftschwankung $p_0 p p_1$, Curve $k_0 k k_1$ in eine der Curve $n_0 n n_1$ ähnliche übergeht.

Man sieht erstens, dass das zwischen der Geraden $p_0 p_1$ und der Abscissenaxe $ot$ gelegene wagerecht schraffirte Stück der negativen Zähne sich von den positiven Zähnen abzieht. Dagegen fügen sich letzteren hinzu die von der Axe aus jenseit der Geraden zwischen je zwei Zähnen gelegenen senkrecht schraffirten Flächenräume, welche die terminale Nachwirkung vorstellen. Der zwischen zwei gegebenen Ordinaten [165] begriffene, wagerecht schraffirte Flächenraum übertrifft besonders zu Anfang den die Nachwirkung vorstellenden senkrecht schraffirten Flächenraum zwischen denselben Ordinaten. Unter dieser Annahme erklärt es sich, dass die Gesammtschwankung bei natürlichem Querschnitt langsamer ansteigt, als bei künstlichem. Den Störungen des Ganges der Curve $p_0 p p_1$ durch Schwanken von $\mathfrak{n}$, oder Rückspringen der Nachwirkung, oder Beides, entsprechen ähnliche Störungen im Gange der Gesammtschwankungscurve. Das später erreichte Maximum dieser Curve $\mu$ bleibt unter dem Maximum der Gesammtschwankungscurve $M$ bei künstlichem Querschnitt. Vom Maximum sinkt die Curve langsam herab, und hält sich, auf und ab schwankend, einige Zeit auf einer dem Maximum nahen Höhe; die Schwankungscurve geht dann allmählich in die der Nachwirkung über.

Ich übergehe, dem schon oben S. 563. 564 Gesagten gemäss, die Frage, ob die innere Nachwirkung auch die parelektronomischen Kräfte ergreife, als für den gegenwärtigen Stand der Untersuchung zu schwierig und unbedeutend zugleich. Dagegen scheint schliesslich folgende Erwägung gerechtfertigt. Da die Curve der Gesammtschwankung bei natürlichem Querschnitt allmählich in die der terminalen Nachwirkung übergeht, und da letztere die innere Nachwirkung weit übertrifft, so kann zuletzt die Schwankung bei natürlichem der bei künstlichem Querschnitt gleichkommen, ja sie übertreffen, obschon das Maximum bei künstlichem das bei natürlichem Querschnitt übertraf. Ich habe diese Möglichkeit in die Figur aufgenommen, obschon ich über deren wirkliches Stattfinden keine unmittelbare Beobachtung besitze. Um solche zu erlangen, müsste man an einem und demselben Muskel erst die Schwankung bei natürlichem Querschnitte nach einer gewissen Dauer des Tetanus messen, dann chemischen Querschnitt herstellen, und nun die Schwankung nach derselben Dauer des Tetanus messen. Wenn man aber jetzt geringere Wirkung erhält, steht Einem nichts dafür, dass dies nicht bloss von der Ermüdung und von der Herabsetzung der Erregbarkeit durch das Anätzen herrühre. Der Versuch ist also nicht ausführbar.

Ich glaube, dass hiermit die Kenntniss der negativen [166] Schwankung in formeller Hinsicht soweit geführt ist, wie die vorhandenen Beobachtungen gestatten, bin aber weit davon entfernt, zu meinen, dass

letztere den Kreis der schon möglichen, noch immer verhältnissmässig fruchtbaren, ja grundlegenden Wahrnehmungen erschöpft haben. Im Gegentheil, es dürfte sehr lohnend sein, an der Hand der gewonnenen Einsichten an die Beantwortung der vielen hier noch offenen Fragen sich zu machen. Einige dieser Fragen, welche mit dem Vorigen in keinem unmittelbaren Zusammenhange stehen, werde ich im letzten Paragraphen dieser Abhandlung anregen. Vorher jedoch liegt uns noch ob, einem auf den Umsturz aller obigen Anschauungen gerichteten Unternehmen entgegenzutreten.

[342]

## §. XXV. Widerlegung der Hermann'schen Theorie der negativen Schwankung und Untersuchung letzterer bei unmittelbarer Reizung curarisirter Muskeln.[1]

### 1. Hrn. Hermann's Theorie der negativen Schwankung.

Hr. Hermann versucht die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung durch die Annahme zu erklären, dass thätiger Muskel gleich absterbendem negativ gegen ruhenden Muskel sich verhalte, folglich thätiger Muskel neutral gegen absterbenden. Nach dieser Hypothese fällt bei künstlichem Querschnitte, wenn der Muskel auf allen Punkten seines Inneren thätig wird, der Grund zum Strome fort, da am Querschnitt thätiger Muskel an absterbenden grenzt. Die negative Schwankung ergiebt sich somit um so leichter, als dies Aperçu der Keim aller thierisch-elektrischen Speculationen des Hrn. Hermann war.

Dagegen bei natürlichem Querschnitt und im stromlosen Zustand der Muskeln, den Hr. Hermann als den normalen betrachtet, vermag Hr. Hermann aus seiner Hypothese nicht ohne Weiteres zu erklären, dass der thätige Muskel im umgekehrten Sinne vom Gesetze des Muskelstromes elektromoto- [343] risch wirksam wird. Denn wird der Muskel zugleich auf allen Punkten seines Inneren thätig, so heisst dies nach Hrn. Hermann soviel, wie dass er auf allen Punkten negativ gegen ruhenden Muskel werde. Da nun aber, ohne weitere Hypothese, nirgend ruhender Muskel vorhanden ist, kann eben so wenig Strom entstehen, als wenn ein in verdünnte Schwefelsäure versenkter Zinkblock auf allen Punkten zugleich in Platin sich verwandelte.

Dieser Schwierigkeit entgeht Hr. Hermann durch zwei Hypothesen.

---

[1] Aus dem Archiv für Anatomie u. s. w. 1867. S. 342.

Die eine ist, dass die Zusammenziehung des Muskels nicht auf allen Punkten zugleich stattfinde. Das abgeleitete Ende des Muskels ist von der Eintrittsstelle des Nerven im Allgemeinen weiter entfernt als der abgeleitete Punkt des Längsschnittes. Hier wird also die Zuckung früher gegenwärtig sein als dort, und im Augenblicke der Zuckung wird der Längsschnittspunkt sich negativ gegen das Muskelende verhalten, mit anderen Worten, negative Schwankung wird entstehen.[1] In Muskeln und Nerven so entstandene Ströme will Hr. Hermann 'Actionsströme' genannt wissen, und mit den Froschhautströmen und dem Schlage der elektrischen Fische sind sie die einzigen thierisch-elektrischen Erscheinungen, die er im lebenden oder überlebenden unversehrten Körper zulässt.

In seiner ersten Bekanntmachung übersah Hr. Hermann, und ich musste ihn erst darauf hinweisen (S. oben S. 338), dass ihm mit dieser Annahme noch nicht geholfen sei. Denn wenn die Schwankung das Ende des Muskels ergriffen hat, kommt ein Punkt, wo nach seiner Hypothese dies Ende so negativ gegen den Längsschnitt sich verhalten muss, wie vorher positiv; es erfolgt positive Schwankung, und die Schwankungen heben einander an der Bussole auf.

Deshalb fügte Hr. Hermann seitdem die zweite Hypothese [344] hinzu, dass die Zuckung, indem sie im Muskel fortschreitet, an Stärke verliere, und dass also die positive Schwankung die negative nicht aufhebe, welche somit zum Vorschein komme.[2]

An diesen Aufstellungen des Hrn. Hermann ist zweierlei zu unterscheiden. Richtig ist daran, dass die Zusammenziehung nicht auf allen Punkten des Muskels zugleich in derselben Phase begriffen ist, und auch uns steht schliesslich bevor, mit Rücksicht hierauf unsere Ergebnisse zu erörtern. Eine andere Frage ist, ob Abnahme der Reizwelle stattfinde, und ob dadurch die verschiedenen Erscheinungsweisen der negativen Schwankung erklärt werden können. Zunächst werden einige Bemerkungen über die Vertheilung der Nerven im Muskel hier am Platze sein, da um diesen Punkt fortan die Verhandlung sich wesentlich dreht.

---

[1] Weitere Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven. Berlin 1867. S. 36.

[2] Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven. Drittes Heft. Berlin 1868. S. 59; — Grundriss der Physiologie des Menschen. 5. Aufl. Berlin 1874. S. 252.

### 2. Wird bei mittelbarer Reizung die Muskelfaser nur an einem Punkt oder an mehreren Punkten ihrer Länge erregt?

Ist Hrn. Gerlach's Lehre von einem die Muskelfaser in ihrer ganzen Länge durchdringenden intravaginalen Nervennetze [1] richtig, so würde der Muskel auf allen seinen Punkten so gut wie gleichzeitig erregt, und der Hermann'schen Hypothese würde jede Unterlage fehlen.

Ich will aber, da ohnehin Hrn. Gerlach's Darstellung mir keinen überzeugenden Eindruck gemacht hat, davon absehen, [2] und mit der, wie ich glaube, grossen Mehrzahl der Histologen daran festhalten, dass es Nervenendplatten in dem [345] allgemein angenommenen Sinne giebt. Doch ist hier noch genauer festzustellen, wie man deren Vertheilung im Muskel sich zu denken habe.

Hr. Reichert zählte im Brusthautmuskel des Frosches auf 160 bis 180 Muskelfasern 280—340 Nervenendigungen, wonach jede Faser etwa 2 Nerven erhalten würde. [3] Hr. Kühne liess zu jeder Muskelfaser des Froschsartorius 6—8 Nervenfasern treten, obschon er an einigen Fasern auch nur eine, an einzelnen sogar keine Nervenendigung fand. [4] Hr. W. Krause wiederholte Hrn. Reichert's Beobachtungen über die motorischen Nervenendigungen im Brusthautmuskel, und seine Worte: „Manche „Muskelspindeln erhalten übrigens nur eine einzige doppelt contourirte „Nervenfaser,“ lassen schliessen, dass er sonst jeder Spindel dieses Muskels mehr als eine Nervenfaser zusprach. [5]

Für den M. gracilis des Frosches dagegen, [6] sowie für alle Säugethiermuskeln, ja sichtlich sonst für alle Muskeln aller Thiere stellte Hr. Krause die Regel auf, dass jede Muskelfaser nur eine Nervenendigung erhält. Besonders genau überzeugte er sich davon am M. retractor bulbi

---

[1] Gerlach, das Verhältniss der Nerven zu den willkürlichen Muskeln der Wirbelthiere. Leipzig 1874. S. 47.

[2] Während des Druckes dieses Aufsatzes erhielt ich durch die Güte des Hrn. Dr. August Ewald dessen Abhandlung: „Ueber die Endigung der motorischen Nerven in den quergestreiften Muskeln“ (Pflüger's Archiv u. s. w. Bd. XII. 1876. S. 529), worin die Gerlach'sche Lehre widerlegt wird.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1851. S. 58.

[4] Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1859. S. 395; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 565 ff.; — Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven. 4. Leipzig 1862. S. 19. 20; — Stricker's Handbuch der Lehre von den Geweben u. s. w. Leipzig 1871. Bd. I. S. 153.

[5] Die motorischen Endplatten der quergestreiften Muskelfaser. Hannover 1869. S. 95.

[6] A. a. O. S. 99.

und am M. tensor fasciae latae der Katze.[1] Die von Hrn. KÜHNE an den Sartoriusfasern beschriebenen häufigeren Nerveneintritte deutete er als Capillargefässe,[2] und sprach es schliesslich rückhaltlos aus, „dass „auch die längsten Muskelfasern der grössten Muskeln nur eine einzige „Endplatte besitzen.“[3]

Gleicher Meinung in Betreff der Zahl der in eine Muskel- [346] faser eintretenden Nervenfasern scheint Hr. GERLACH. Dass im Brusthautmuskel etwa die doppelte Zahl von Nervenendigungen gefunden wurde, wie von Muskelfasern, erklärte er durch die bei den meisten terminalen Nervenfasern vor dem Eintritt in die Muskelfaser vorhandene Zweitheilung.[4]

Von Bedeutung wird hier eine andere Lehre des Hrn. KRAUSE über den Bau der Muskeln. Die von Hrn. ROLLETT wieder aufgefundene spitze Endigung der Muskelfasern im Inneren des Muskels[5] betrachtet Hr. KRAUSE als Regel. Seiner Meinung nach giebt es überhaupt keine längeren Muskelfasern als solche von höchstens 4 $^{cm}$. Bei Muskeln von dieser oder von geringerer Länge erstrecken sich die Muskelfasern von Sehne zu Sehne, wie man es bisher auch von längeren Muskeln fälschlich sich dachte. Bei längeren Muskeln aber enden die Muskelfasern an beiden Enden spitz, daher Hr. KRAUSE die Muskelfasern 'Muskelspindeln' nennt.[6]

---

[1] A. a. O. S. 76—79.

[2] C. F. Th. KRAUSE's Handbuch der menschlichen Anatomie. 3. Aufl. von W. KRAUSE. Bd. I. Hannover 1876. S. 497.

[3] Handbuch u. s. w. S. 495.

[4] Das Verhältniss der Nerven zu den willkürlichen Muskeln u. s. w. S. 34.

[5] Wiener Sitzungsberichte u. s. w. 1856. Bd. XXI. S. 176.

[6] Die motorischen Endplatten u. s. w. S. 2—6; — Handbuch der menschlichen Anatomie u. s. w. A. a. O. S. 81. Hr. KRAUSE hat Recht, wenn er bemerkt, dass durch die von ihm in den längeren Muskeln erkannte Anordnung deren Leistungsfähigkeit nicht beeinträchtigt werde, da der Zug durch die fest verbundenen Muskelspindeln wie durch eine stetige Faser sich fortpflanze. Wenn er aber an der zweiten Stelle hinzufügt: „Im Gegentheil dürfte die mechanische Leistung bei der „vorhandenen Anordnung sich vortheilhafter gestalten, als wenn die Muskelfasern „von einem Muskelende bis zum andern reichten,“ wie daraus einleuchte, dass bei letzterer Annahme eine Sartoriusfaser vom Menschen Verhältnisse darböte, wie ein Draht von 15 $^{m}$ Länge und 1 $^{mm}$ Durchmesser, — so verstehe ich ihn nicht. Zwar findet sich bei seinem Vater die Meinung, dass Zwischensehnen einen Muskel verstärken (Handbuch der menschlichen Anatomie. 1833. Bd. I. S. 63), aber diese Meinung ist irrig. Die Kraft des Muskels ist seinem Querschnitte proportional, der doch nicht durch Zwischensehnen vergrössert werden kann. Solche Sehnen verkleinern nur den der Länge des Muskels proportionalen Hub, also seine Arbeitsleistung,

Hr. [347] Nicol hat dies Ergebniss bestätigt.[1]

Indem jede Muskelspindel nur eine Nervenfaser erhält, erklärt es sich, dass längere Muskeln nicht bloss in der Mitte ihrer Länge, sondern bis zu einer Entfernung von ihren Enden, die etwa der halben Länge einer Muskelspindel gleichkommt, Nerven enthalten. Die Enden des M. tensor fasciae latae der Katze z. B. findet man in 0·5 bis 2 $^{cm}$ nervenfrei.[2] Muskeln von geringerer Länge als 4 $^{cm}$ müssen im Verhältniss zu ihrer Masse um so mehr Nerven erhalten, je kürzer sie sind, längere Muskeln eine ihrer Masse proportionale Anzahl von Nervenfasern. Nimmt man hinzu, dass in verschiedenen Muskeln aus Einer Nervenfaser verschieden viel Endfasern entspringen können, so fehlt es nicht an Mitteln, um Erscheinungen zu erklären, wie den scheinbar grösseren Nervenreichthum der Augenmuskeln.[3]

Es wird bequem sein, fortan Muskeln, in welchen die Fasern [348] von Ende zu Ende reichen, in der Rede kurz von solchen unterscheiden zu können, welche der Länge nach aus mehreren Fasern oder Spindeln zusammengesetzt sind. Ich werde erstere *monomere*, letztere *pleiomere* Muskeln nennen.

Jetzt handelt es sich darum, die Nervenvertheilung in monomeren Muskeln zu untersuchen. Nach Hrn. Kühne bleibt der Sartorius des

---

daher ihr Dasein aus der Entwickelung oder aus besonderen Zwecken zu rechtfertigen ist (Vergl. Henle, Handbuch der Muskellehre des Menschen. 2. Aufl. Braunschweig 1871. S. 8). Die Zusammensetzung längerer Muskeln aus Spindeln ist vortheilhafter nur weil der an mehr Punkten innervirte Muskel schneller in ganzer Länge einen gewissen Grad von Energie erreicht. Erhielte eine von Ende zu Ende auch des längsten Muskels verlaufende Faser soviel Nervenendigungen, als Spindeln dazu gehören um dieselbe Strecke zu überspannen, so würde sie, selbst angenommen die übereinandergreifenden Enden der Spindeln ergänzten sich stets zum gleichen Querschnitte, nicht bloss so gut wirken, wie die ihr entsprechende Spindelreihe, sondern besser. Denn ist $v$ die Geschwindigkeit der Zuckungswelle, und $\lambda$ die Länge, in welcher die Spindeln mit ihren Enden aneinander liegen, so erreicht die Spindelreihe erst um die Zeit $t = \frac{\lambda}{2v}$ später als die zusammenhängende Faser auf allen Punkten denselben Grad von Energie, wie diese.

[1] Henle's und Pfeuffer's Zeitschrift u. s. w. 1866. 3. R. Bd. XXVIII. S. 78.

[2] Nach Hrn. Kölliker enthält der obere Bauch des M. omohyoideus des Menschen bei einer Länge von 3″ nur in einem Bereiche von 5—8‴, also in einem Sechstel seiner Länge, Nervenfasern. Aehnliches berichtet Hr. Kölliker vom unteren Bauche desselben Muskels, ferner vom M. sternohyoideus, sternothyreoideus, subcruralis und costocervicalis. Doch beziehen sich diese Angaben nur auf gröbere Nervenverzweigungen (Mikroskopische Anatomie. Bd. II. Leipzig 1850. S. 238. 239.)

[3] Vergl. Krause, Die motorischen Endplatten u. s. w. S. 79.

Frosches nur im Bereiche weniger Millimeter von seinen Enden nervenfrei.[1] Nach Hrn. Krause vertheilen sich die Nerven im M. retractor bulbi der Katze innerhalb der mittleren zwei Viertel des Muskels.[2] Nach Hrn. Reichert beschränkt sich am Brusthautmuskel des Frosches die Strecke, in welcher die Nerven an den Muskelfasern endigen, auf das mittlere Drittel.[3] Endlich am Gastroknemius des Frosches verlegt Hr. Kühne sämmtliche Endplatten etwa in die Mitte der Muskelfasern.[4]

Hier stossen wir jedoch auf eine ernste Schwierigkeit, welche nochmals zu erörtern ich nicht für unnütz halte, obschon ich schon einmal darauf hinwies.[5] Aus Hrn. C. Sachs' Versuchen folgt, dass die Wirkung einer Endplatte auf die zugehörige Muskelfaser beschränkt bleibt.[6] Aus Hrn. Kühne's Versuch über doppelsinnige Leitung des Nervenprincipes am Sartorius folgt weiter, dass auch eine Muskelfaser, der eine Reizwelle entlang läuft, die Nachbarfasern unerregt lässt.[7] Danach erscheint unzweckmässig, dass Nervenendigungen über einen grösseren Bezirk des Muskels sich verbreiten. Erstens ist Nervenlänge vergeudet, zweitens geht im Nerven eine, wenn auch kleine, doch angebbare Zeit verloren, drittens wird die Wirkung des Muskels verlangsamt, denn der mittlere Ab- [349] stand der Endplatte von allen Punkten der Muskelfaser ist ein Minimum, wenn die Endplatte in deren Mitte liegt. Das scheinbar allein Zweckmässige wäre, dass sämmtliche Endplatten in der mittleren Querebene des Muskels lägen, wie es, mit Berücksichtigung seiner verschobenen Form, nach Hrn. Kühne beim Gastroknemius der Fall ist.

Diese Schwierigkeit zu heben, müsste entweder eine aus der Entwickelung herrührende Ursache für die scheinbar unzweckmässige Anordnung nachgewiesen werden, woran es bisher fehlt; oder man müsste einen anderen damit verbundenen Zweck ersinnen. Man könnte glauben, die Endplatten lägen deshalb nicht alle in Einer Ebene, weil sie als krafterzeugende Organe bedeutenden Stoffwechsel haben, und sich gegenseitig beeinträchtigen würden, wenn sie sämmtlich in einer Querebene versammelt wären. Im Gastroknemius lägen sie zwar virtuell in solcher Ebene,

---

[1] Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1859. S. 395; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 567.

[2] Die motorischen Endplatten u. s. w. S. 76.

[3] A. a. O. S. 67.

[4] Ueber die peripherischen Endorgane u. s. w. S. 22.

[5] Experimentalkritik u. s. w. Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1874. S. 556. — Vergl. unten Abh. XXXI. §, VIII.

[6] Archiv für Anatomie u. s. w. 1874. S. 57.

[7] Monatsberichte der Akademie u. s. w. S. 400; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 585 ff.

seien aber in Wirklichkeit gegeneinander verschoben, so dass sie in verschiedener Höhe sich befinden. Dieser Annahme widerstreitet, dass in den Ganglien zahlreiche Nervenzellen, deren Stoffwechsel dem der Endplatten am ehesten sich vergleichen liesse, dicht gepackt sind.

Bei der Dünne der Endplatten ist auch nicht daran zu denken, dass sie in Einer Querebene liegend am Muskel einen ringförmigen Wulst erzeugt hätten.

Die Richtigkeit der Angabe vorausgesetzt, dass jede Muskelfaser auch eines längeren monomeren Muskels nur eine Nervenendplatte erhält, erscheint demnach als einziger Ausweg, dass es doch noch gelinge, von Einer Endplatte aus mehrere Muskelfasern zu innerviren. Da Hrn. Sachs' Versuche mit minimaler Reizung angestellt sind, so ist, wie er selber hervorhebt, die Möglichkeit da, dass bei stärkerer Reizung die Wirkung der Endplatte auf mehrere Fasern sich ausbreite. Natürlich müsste dann diese Wirkung elektrisch sein. Der Sinn der Anordnung wäre dann, dass jede Muskelfaser an mehreren Stellen zugleich erregt würde, nämlich überall, wo sie der Rückenfläche der Endplatten benachbarter Fasern hinreichend nahe käme. Dadurch würde sie schneller in ganzer Länge wirksam.

Auch verstände man, warum in längeren monomeren Mus- [350] keln, im Vergleich zu kürzeren, eine längere mittlere Strecke mit Nervenendigungen versehen ist als in kürzeren. Dunkel bliebe dagegen, warum in pleiomeren Muskeln die nervenfreie Strecke etwa halb so lang ist, wie eine Muskelspindel, in monomeren nur wenige Millimeter (vergl. auf den beiden vorigen Seiten). Auch in ersteren sollte sie so kurz wie möglich sein.

Hr. Krause äussert die Vermuthung, dass die zur Fortpflanzung der Reizwelle nöthige Zeit dem Latenzstadium entspreche.[1] Dies ist nicht richtig. Schon vor achtzehn Jahren hatte Hr. Pflüger (damals noch in Berlin) denselben Gedanken gefasst. Ich erhielt zu jener Zeit von Hrn. Rekoss in Königsberg ein Helmholtz'sches Myographion, und der erste Versuch, den Hr. Pflüger und ich damit anstellten, galt dieser Frage. Es zeigte sich aber auch bei unmittelbarer Reizung, wo der Muskel auf allen Punkten zugleich erregt wird, ein Latenzstadium.[2] Unzweifelhaft war dies schon von Hrn. Helmholtz selber beobachtet, und er hatte nur versäumt, es in seinen Abhandlungen zu erwähnen. Uebri-

---

[1] Handbuch u. s. w. S. 501.

[2] Vergl. E. du Bois-Reymond, On the Time required for the Transmission of Volition and Sensation through the Nerves. Proceedings of the Royal Institution of Great Britain. April 13, 1866. p. 6. 8. Fig. 2.

gens würde am POUILLET'schen Chronoskop, bei genauer Einstellung des Muskels auf Belastung im HELMHOLTZ'schen Sinne, kein Latenzstadium sich zeigen, wenn sofort nach Eintreffen des Reizes im Muskel die Zusammenziehung in der Nähe der Endplatten anfinge. Denn es liegt im Wesen dieser Anordnung, dass schon die kleinste Zunahme des Muskels an Spannung den zeitmessenden Strom unterbricht.

### 3. Anwendung der neuen Lehre vom Muskelbau auf die elektromotorischen Erscheinungen der Muskeln. Von den sehnigen Scheidewänden der Mm. gracilis und semimembranosus vom Frosche. Vom Adductor magnus, einem neuen regelmässigen Oberschenkelmuskel des Frosches.

Wir kehren zu unserem Gegenstande zurück, indem wir [351] erwägen, wie Hrn. KRAUSE's Lehre vom Muskelbaue zur Lehre vom Muskelstrome passe. Sichtlich muss in pleiomeren Muskeln jede Spitze einer Muskelspindel Sitz von Parelektronomie und terminaler Nachwirkung sein. Allein die negativen Kräfte aller inneren Enden heben, wie man annehmen darf, im Allgemeinen einander auf. Der elektromotorische Erfolg ist also derselbe, als reichten die Fasern von Sehne zu Sehne. Folglich bleiben bei Hrn. KRAUSE's Vorstellung vom Muskelbaue auch an pleiomeren Muskeln alle unsere Schlüsse in Kraft.

Die monomeren Froschmuskeln werden selbstverständlich dadurch gar nicht berührt. Doch hat neuerlich mit Bezug auf die Frage nach der Geschwindigkeit der Reizwelle Hr. HERMANN[1] auf den zuerst von Hrn. ECKER[2] hervorgehobenen Umstand aufmerksam gemacht, dass die Mm. gracilis und semimembranosus vom Frosche durch eine sehnige Scheidewand in zwei Abschnitte getheilt werden. Hr. ECKER hatte für beide Muskeln zweifelhaft gelassen, ob die Scheidewand alle Fasern unterbreche, und vom Semimembranosus hatte er angegeben, dass sie den Muskel in schräger Richtung in eine vordere und hintere Hälfte theile. Hr. HERMANN behauptet für beide Muskeln mit grösster Schärfe Unterbrechung aller Fasern in der Art, dass der Muskel in einen oberen und einen unteren Abschnitt zerfalle, aus deren einem die Zusammenziehung, wenigstens am entnervten Muskel, nicht auf den anderen übergehe; und er gründet hierauf eine Kritik der Versuche, durch welche Hr. AEBY[3]

---

[1] PFLÜGER's Archiv u. s. w. 1875. Bd. X. S. 49.

[2] Die Anatomie des Frosches. Braunschweig 1864. S. 113. 114. Fig. 81. 82.

[3] Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in der quergestreiften Muskelfaser. Braunschweig 1862.

und später Hr. Bernstein [1] die Geschwindigkeit der Reizung im Muskel maassen.

Ich selber habe mich des Gracilis und Semimembranosus oft als regelmässiger Muskeln bedient, namentlich des ersteren, denn am Semimembranosus hatte ich schon eine andere Ab- [532] weichung beschrieben, welche darin besteht, dass der Muskel in einem Theile seiner Länge von unten nach oben neue Fleischbündel ansetzt, die von beiden Seiten eines an seinem äusseren Umfang emporsteigenden Sehnenstreifes entspringen (s. oben S. 161). Die *Inscriptiones tendineae*, welche schräg über die Aussenfläche [2] beider Muskeln verlaufen, waren mir nicht unbekannt; doch hielt ich sie für oberflächlich und hatte bisher keine Veranlassung, sie näher zu berücksichtigen. (Vergl. oben S. 53. 174. 184).

Aus Gründen, welche bald erhellen werden, habe ich jetzt diesen Punkt genauer untersucht. Ich gelangte leicht zum Ziele mittels des Verfahrens, welches mir zur Darstellung der facettenförmigen Endigung der Muskelfasern an den Sehnenspiegeln des Gastroknemius und Triceps so nützlich ward (s. oben S. 49). Die Muskeln wurden, leicht ausgespannt, mit Platindraht auf Glasstreifen von etwa $6^{mm}$ Breite und 40 bis $50^{mm}$ Länge befestigt, und in das bekannte Gemenge von Salpetersäure und krystallisirtem chlorsaurem Kali gelegt. Das Immobilisiren der Muskeln erfüllt den wichtigen Zweck, zu verhindern, dass sie in der isolirenden Flüssigkeit zu unförmlichen Klumpen sich zusammenballen. Nach hinreichender Einwirkung des Gemenges geht der Muskel da, wo eine sehnige Scheidewand vorhanden ist, bei sanfter Berührung auseinander, und in den Trennungsflächen unterscheidet man mit der Lupe die sammetartige Mosaik der Faserenden. So sind folgende Ergebnisse gewonnen.

In Fig. 41 zeigt *G* die Innenfläche (s. Anm. 2) des rechten Gracilis. Der hintere Rand des Muskels, in der Figur der linke, wulstet sich nach innen vor, und giebt dadurch Anlass zur Bildung einer Falte, in der bei × der Hilus liegt. Die über den Muskel ausgezogene Curve ist der Rand der Scheidewand an der dem Beschauer zugekehrten Innenfläche; ihr gleichsam durch den Muskel hindurch gesehener Rand an der [353] dem Beschauer abgewandten Aussenfläche ist gestrichelt. Der Theil der Scheidewand, welcher eine perspectivische Ansicht gewährt, ist getüpfelt. Wie man sieht, ist der obere Muskelabschnitt im Allgemeinen keilförmig

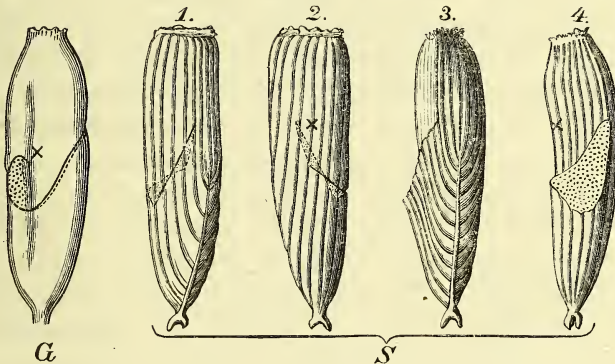
[1] Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme. Heidelberg 1871. S. 76 ff.

[2] Aussen- und Innenfläche der Muskeln heissen im Folgenden beziehlich die dem Lymphraum und die dem Knochen zugewandten Flächen der Muskeln.

in den unteren, schwalbenschwanzförmigen Abschnitt eingelassen. Aber die Gestalt der Inscription ist nicht dieselbe an beiden Flächen. An der Aussenfläche bildet sie bei sonst stetigem Verlauf eine nach hinten verschobene stumpf lancettförmige Spitze nach unten. An der Innenfläche macht sie an der oben erwähnten Falte einen Sprung in der Faserrichtung, so dass einander berührende Fasern in verschiedener Höhe unterbrochen sind. Der so entstehende spitze Zipfel liegt in gleicher Höhe mit der stumpfen Spitze an der Aussenfläche. Dies war der nächste Punkt, wo in Hrn. Aeby's Versuchen die von dem Elektrodenpaar am unteren Muskelende ausgehenden Stromschleifen Enden durchgehender Fasern trafen.[1]

Die vier anderen Abbildungen beziehen sich auf den rechten Semimembranosus. $S_1$ zeigt seine Aussen-, $S_2$ seine Innenfläche. Beidemal ist der Rand der Scheidewand an der dem Beschauer zugekehrten Fläche

Fig. 41.




ausgezogen, an der anderen gestrichelt. Die perspectivisch sichtbare Grenzfläche ist getüpfelt. Man bemerkt sogleich, dass die Scheidewand nicht den [354] ganzen Muskel in zwei Abschnitte trennt, sondern fast wie die Narbe eines schräg von unten und hinten nach oben und vorn geführten Hiebes nur etwa zwei Drittel des Muskels durchdringt. Nichts ist leichter, als ohne jede weitere Maassnahme sich davon schon an dem von der Haut entblössten Muskel *in situ* zu überzeugen, wo er den Anblick wie in $S_1$ darbietet. $S_3$ und $S_4$ zeigen den Muskel beziehlich von seinem äusseren und seinem inneren Rand aus gesehen, nachdem von dem Theile des Muskels, dessen Fasern unterbrochen sind, der obere Abschnitt entfernt wurde. Eine mächtige Fasermasse verläuft, wie man

[1] Vergl. Aeby in Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie u. s. w. 1875. Bd. XI. S. 465.

sieht, ununterbrochen vom oberen Ende des Muskels bis nahe an das knorpelige Hufeisen, durch welches der Muskel an der Tibia sich befestigt; die Länge ihrer längsten Fasern beträgt gegen 0·9 der Muskellänge.

Daraus erklärt sich Hrn. Bernstein's Erfolg, da in seinen Versuchen Gracilis und Semimembranosus zugleich angewendet wurden.[1] Wenn auch nur einem Theile der eine Muskelmasse zusammensetzenden Fasern eine Zuckungswelle entlang läuft, entsteht doch eine dem Querschnitt der Masse einigermaassen proportionale Verdickung am Ort der Welle, weil die nicht selbstthätig anschwellenden Fasern, um die Verkürzung mitzumachen, zickzackförmig sich lagern, wie man bei mikroskopischer Beobachtung des Tetanus bekanntlich an ermüdeten Fasern sieht.

Der Nerv des Gracilis theilt sich, wie schon Hr. Aeby [355] bemerkte,[2] in einen Ast für den oberen und einen für den unteren Abschnitt des Muskels. Bei gleichzeitiger Innervation beider Aeste hat diese Einrichtung grössere Geschwindigkeit der Wirkung des Muskels zur Folge. Warum im Semimembranosus nur ein Theil der Fasern desselben Vortheils geniesse, ist leichter zu fragen als zu sagen.

Die Fasern beider Muskeln stossen an die sie unterbrechende Scheidewand jederseits mit ziemlich gut ausgebildeten Facetten, nach Art der Fasern der Seitenrumpfmuskeln der Fische (s. oben S. 56. 57). Es werden also den Scheidewänden entlang jederseits Neigungsstromkräfte herrschen, bei gleicher Parelektronomie jedoch in der Ruhe einander aufheben. Dass dies gewöhnlich der Fall sei, folgt daraus, dass gerade am Gracilis das Gesetz des Muskelstromes, mit Inbegriff der Neigungsströme, am sichersten und reinsten sich darstellt. Auch bei mittelbarem Tetanus müssen jene Kräfte einander aufheben. Deshalb haben wir die Kenntniss der sehnigen Scheidewände bisher ohne Schaden entbehrt. Sie hätte uns indess eine Auskunft mehr geboten, um die Unregelmässigkeiten zu erklären, auf die wir am tetanisirten Gracilis bei Ableitung des Stromes von verschiedenen Längsschnittspunkten stiessen. (S. oben S. 415. 426).

Es erschien jetzt wünschenswerth, für gewisse Gelegenheiten neben dem Sartorius, der so leicht abstirbt und dessen Nerv so zart ist, und dem Cutaneus femoris, mit dem vollends nichts anzufangen ist, noch einen

---

[1] Hr. Hermann hat schon darauf aufmerksam gemacht (a. a. O. S. 49), dass Hr. Bernstein irrthümlich den Gracilis und Semimembranosus die beiden Adductoren, den Semitendinosus Biceps nennt (Untersuchungen über den Erregungsvorgang u. s. w. S. 80).

[2] A. a. O. S. 48. 49.

regelmässigen monomeren Muskel zu besitzen. Ich fand einen solchen, für manche Zwecke ganz tauglichen, in dem von Hrn. Ecker als Adductor magnus[1] bezeichneten Oberschenkelmuskel vom Frosche. Zwar hängt dieser Muskel oben mit dem einen Kopfe des Semitendinosus, unten mit dem Adductor longus Ecker zusammen. Doch lassen beide Verbindungen ohne Verletzung unseres Muskels sich lösen; unten bleiben Stoppeln des Ad- [356] ductor longus stehen, sterben aber unstreitig so schnell ab, dass nichts auf sie ankommt. Das untere Ende des Muskels bildet, wie Hr. Ecker es ausdrückt, eine Art Muskelrohr um das Femur, und lässt sich ohne Verletzung nicht davon trennen. Daher der Muskel sich nicht wohl dazu eignet, das Gesetz des Muskelstromes mit natürlichem Querschnitt daran zu erweisen. Dagegen kann man ihn gut im Muskelspanner mittelbar oder unmittelbar tetanisiren. Oben lässt man ihm ein Stück Becken, unten etwa das untere Drittel des Femur und den Kopf der Tibia, die man mittels einer um das Knie gelegten Fadenschlinge an die eine Elfenbeinplatte des Spanners befestigt. Der Nerv des Adductor magnus ist so viel leichter darstellbar als der des Sartorius, Gracilis und Triceps, dass es einer besonderen Vorschrift dafür, wie für die Nerven jener Muskeln (s. oben S. 405. 422. 433), nicht bedarf.

4. Hrn. Hermann's Theorie vermag auch bei den günstigsten ihr gemachten Zugeständnissen die Erscheinungen der negativen Schwankung nicht zu erklären.

Wenn es im Vorigen scheinen konnte, als verweile ich über Gebühr bei Betrachtungen, aus denen schliesslich nichts sich ergab, als wie wenig wir davon wissen, auf welche Art die Muskeln erregt werden: so geschah dies nicht unabsichtlich. Es lag mir daran, den Leser an die unsichere Beschaffenheit des Bodens zu erinnern, auf dem wir uns bewegen. Dies ist der Flugsand, auf welchem Hr. Hermann nach seiner eigenen Erklärung[2] seine Lehrgebäude mit Vorliebe aufführt. Wir sahen schon, was seine Theorie der negativen Schwankung werth ist, wenn zufällig und trotz allem Anschein, Hr. Gerlach in Betreff der motorischen Nervenendigungen doch Recht behalten sollte (s. oben S. 568). Aber wie steht es um diese Theorie, auch wenn Hr. Gerlach sich irrte, wenn aber die

[1] Die Anatomie des Frosches. Braunschweig 1864. S. 116. Fig. 83. 84. Man wird sich hüten müssen, den Muskel seinem Namen nach mit dem früher von mir (nach Cuvier) Adductor magnus genannten Gracilis zu verwechseln. Vergl. oben S. 193 Anm. 2.

[2] Lud. Hermann, Weitere Untersuchungen zur Physiologie der Muskeln und Nerven. Berlin 1867. S. 67. — Vergl. oben S. 358.

oben S. 571. 572 geäusserten Zweifel sich bestätigten, und es sich zeigte, dass der Muskel nicht umsonst bis nahe an seinen Enden [357] Nerven hat, sondern bei stärkerer Reizung innerhalb des ganzen nervenhaltigen Bezirkes erregt wird? Dann hätte die Reizwelle nur die wenig Millimeter lange Bahn der nervenfreien Enden zu durchlaufen, und wird Hr. Hermann behaupten, dass sie schon in so kurzer Strecke hinreichend abnehme?

Doch ich verschmähe es, in dieser Trübe zu fischen. Ich will vielmehr von den Hrn. Hermann günstigsten Annahmen ausgehen, 1. dass die Reizwelle im Muskel abnehme; 2. dass jede Muskelfaser eines regelmässigen monomeren Muskels nur an einem Punkt ihrer Länge erregt werde. Der Einfachheit halber setze ich ferner voraus, dass dieser Punkt die Mitte des Muskels sei, oder dass sämmtliche Endplatten in der Mitte der Muskellänge liegen. Es wird sich zeigen, dass die Folgerungen aus dieser Annahme dem in Wirklichkeit stattfindenden Verhalten allenfalls angepasst werden können. In der die Endplatten enthaltenden Querebene, also am Aequator des Längsschnittes, befinde sich die eine ableitende Thonspitze, während die andere das sehnige Ende oder dort angelegten künstlichen Querschnitt berührt. Wird der Nerv erregt, so laufen also, jeder Reizung entsprechend, Reizwellen von der Mitte des Muskels nach seinen beiden Enden.

Wir nehmen der Einfachheit halber an, dass die augenblicklichen Reizungen, die wir den Muskel treffen lassen, einander in solchem Zeitabstande folgen, dass die Welle Zeit hat, am Aequator zu entstehen, nach dem Ende des Muskels zu laufen, und dort zu vergehen. Den Zeitraum zwischen je zwei Reizungen theilen wir in drei Abschnitte, einen Abschnitt $T_1$, während dessen die Welle unter der Spitze am Aequator hindurchgeht, einen Abschnitt $R$, während dessen sie zwischen den ableitenden Spitzen wandert, und einen Abschnitt $T_2$, während dessen sie sich am Querschnitte befindet. Wir wollen vorläufig setzen $T_1 = T_2 = T$. Auch nehmen wir, wie bei Erörterung der Versuche am Elektrodynamometer (s. oben S. 510), rechteckige Gestalt der Zähne der Doppelktenoide an, als welche man die aus abwechselnd positiven und negativen Wellen bestehende Curve bezeichnen kann. Die Wirkung des Muskels in der Ruhe, oder im Zeitabschnitte $R$, sei $\mathfrak{M}$, seine Wirkung [358] im Abschnitt $T_1$ sei $\mathfrak{M}_1$, die im Abschnitt $T_2$, $\mathfrak{M}_2$. Dann wird die Wirkung im Tetanus sein

$$\frac{R\mathfrak{M} + T(\mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2)}{R + 2T},$$

und die Schwankung

$$S = (2\mathfrak{M} - \mathfrak{M}_1 - \mathfrak{M}_2) \cdot \frac{T}{R + 2T}$$

Denkt man sich nun den Muskel stromlos, d. h. nach Hrn. HERMANN völlig unversehrt, und die Reizwellen nach den Enden des Muskels zu abnehmend, so muss bei Zuckung oder Tetanus in der That Wirkung im richtigen Sinn entstehen. Sei (um Hrn. HERMANN's Hypothese genauer auszudrücken) $\Delta$ der elektromotorische Unterschied zwischen ruhender und absterbender oder thätiger Muskelsubstanz, und $\Delta - \delta$ der Unterschied zwischen ruhender Substanz und der Substanz in dem Thätigkeitsgrade, der wegen Abnahme der Reizwelle noch am Ende des Muskels herrscht. Dann ist

$$\mathfrak{M} = 0, \ \mathfrak{M}_1 = -\Delta, \ \mathfrak{M}_2 = \Delta - \delta.$$

Man hat

$$S = \delta \cdot \frac{T}{R + 2T}$$

Legt man künstlichen Querschnitt an, so erzeugt man eine absterbende Schicht, zwischen welcher und ruhendem Muskel der Unterschied $\Delta$ herrscht. Nun ist schon während der Ruhe Strom da. Im Augenblick, wo die Reizwelle am Aequator entsteht, wird der Strom Null, weil die Thonspitze dort thätige, die Thonspitze am Querschnitt absterbende Substanz berührt, welche beide gleich negativ gegen ruhende Substanz sein sollen. Vom Augenblick an aber, wo die Reizwelle unter der Aequatorspitze hindurchging, ist der Strom wieder in voller Stärke da. Denn nach einer von Hrn. HERMANN's zahllosen Hülfshypothesen *ad hoc* bilden ruhende, thätige und absterbende Muskelsubstanz eine VOLTA-sche Spannungsreihe.[1] Diesmal ist also $\mathfrak{M} = \Delta$, $\mathfrak{M}_1 = 0$, $\mathfrak{M}_2 = \Delta$, folglich

$$S = \Delta \cdot \frac{T}{R + 2T}.$$

$S$ ist beidemal positiv; und da $\Delta > \delta$ und

$$\frac{\delta}{0} > 1,$$

[359] sieht es fast so aus, als seien die oben S. 533. 554 gestellten Bedingungen erfüllt, und als vermöchte Hrn. HERMANN's Hypothese sogar Rechenschaft von unseren neuen Thatsachen zu geben, dass die Schwankung bei künstlichem die bei natürlichem Querschnitt absolut übertrifft, und dass das Verhältniss der Schwankung zum Strom in der Ruhe bei natürlichem Querschnitte grösser ist als bei künstlichem.

---

[1] PFLÜGER's Archiv u. s. w. 1871. Bd. IV. S. 177. 178.

Allein damit ist auch ihre Leistung zu Ende. Sobald statt dieser Grenzfälle der allgemeine Fall eintritt, dass der Muskel mässig parelektronomisch ist, was Hr. Hermann dahin auslegt, dass am Querschnitt eine Schicht sich befindet, welche minder schnell abstirbt, als die Schicht am künstlichen Querschnitt, herrscht nur noch Dunkel. Sei $\Delta - d$ die Kraft zwischen dieser Schicht und ruhender Substanz. Im Augenblick, wo die Reizwelle unter der Längsschnittsspitze verweilt, entsteht negative Schwankung im Betrage von $-\Delta + d$. Was aber wird geschehen im Augenblicke, wo die Welle am Querschnitt anlangt? Hrn. Hermann's Andeutungen über seine Hypothese lassen uns dieser Frage gegenüber völlig im Unklaren. Etwas Nutzloseres, als die hier in seinem Sinn etwa denkbaren Möglichkeiten zu zergliedern, dürfte es nicht geben. Wenn man es nicht scheut, Hülfshypothesen *ad hoc* aufeinander zu häufen, wird es aber freilich auch unter diesen Bedingungen glücken, negative Schwankung von passender Stärke herauszubringen.

Betrachten wir jetzt den Zustand höherer Parelektronomie, in welchem schon der ruhende Muskel negativ wirkt. Schon die Erklärung dieses Zustandes an sich bereitet Hrn. Hermann unüberwindliche Schwierigkeiten. Bekanntlich fasst er die Parelektronomie als 'Indolenz' der Muskelsubstanz auf, welche durch die Kälte zu träge zum Absterben werde, und der natürliche Querschnitt erscheint ihm, den schlagendsten Gründen entgegen (s. oben S. 43. 398), sonst als vulnerabelster Theil des Muskels. Jetzt muss er annehmen, dass dieselben Umstände, welche bei mässiger Einwirkung den Muskel mässig, bei stärkerer Einwirkung ihn mehr 'indolent' machen, bei noch stärkerer [360] Einwirkung ihn wieder weniger 'indolent' machen, und dass dabei zugleich der Querschnitt der weniger vulnerable Theil wird. Aber die Verlegenheit wird noch schlimmer durch die absolut negative Schwankung solchen Muskels im Tetanus. Er wird nämlich dadurch zur Annahme gezwungen, dass die vulnerablere, schneller absterbende mittlere Gegend des Muskels stärkere negative Schwankung hat, als die vergleichsweise unversehrte Schicht, welche an den Querschnitt stösst. Es bleibt ihm nichts übrig, als mittels neuer Hypothesen *ad hoc* sich auch über diesen Widerspruch hinwegzusetzen.

Die innere Nachwirkung kann Hr. Hermann erklären. Bei künstlichem Querschnitte bleibt der Längsschnitt noch eine Zeitlang negativer zurück. Bei natürlichem Querschnitt übertrifft die hinterbleibende Negativität des Aequators die des Querschnittes. Wäre nur überhaupt verständlich, wie der Muskel, nachdem er durch einen dem Absterben vergleichbaren Vorgang negativ ward, seine natürliche Beschaffenheit im Nu fast vollständig wiedergewinnt (vergl. oben S. 338).

Was die terminale Nachwirkung betrifft, so wäre ich begierig zu

sehen, wie Hr. Hermann damit fertig wird. Sie beruht erfahrungsmässig auf einer am natürlichen Querschnitte bei der Zuckung sich bildenden elektromotorischen Fläche, welche von innen nach aussen wirkt. Ich vermag mir keine Combination auf den von Hrn. Hermann aus der Luft gegriffenen Grundlagen zu denken, welche zur Entstehung solcher Fläche führte.

Den verschiedenen Verlauf der Zuckung bei künstlichem und natürlichem Querschnitte vermag Hr. Hermann [ebenso wenig zu erklären. Nach ihm entsteht die Schwankung zwischen Längsschnitt und natürlichem Querschnitte, ganz wie die zwischen zwei Längsschnittspunkten bei unmittelbarer Reizung des entnervten Muskels, durch Abnahme der Reizwelle. Letztere Schwankung aber zeigt, wie wir unten S. 590 sehen werden, nichts von dem besonderen Verlaufe der Schwankung bei natürlichem Querschnitte].

Wenn die negative Schwankung der Ausdruck verschiedener Grösse der Reizwelle an den beiden abgeleiteten [361] Punkten ist, so muss sie mit diesem Unterschied abnehmen, also unter anderem mit der Länge des Weges, den die Welle zwischen beiden Punkten zurücklegt; sei's dass die Spannweite des ableitenden Bogens kleiner, sei's dass der Muskel kürzer ist.

An einem regelmässigen, wegen Parelektronomie stromlosen Muskel, der vom Nerven aus tetanisirt wird, müsste also, nach Hrn. Hermann, bei Ableitung vom natürlichen Querschnitt und von einem diesem nahen Punkte des Längsschnittes, die Schwankung bei gleichem Widerstande sehr klein sein im Vergleiche zu der bei Ersatz letzteren Punktes durch den Aequator. Dagegen dürfte sie nicht merklich zunehmen, wenn, während die eine Spitze am Aequator liegen bliebe, die andere von einem dem sehnigen Ende nahen Punkt auf natürlichen Querschnitt rückte. Bei künstlichem Querschnitt dagegen müsste sie unabhängig von der Spannweite des ableitenden Bogens sein. Bei mittlerer Parelektronomie, wobei Hrn. Hermann's Hypothese, wie man sah, überhaupt ganz unklar ist, lässt sich ohne Hülfshypothesen über das entsprechende Verhalten Nichts aussagen; und vollends von dem wegen Parelektronomie negativ wirksamen Muskel kann gar nicht weiter die Rede sein. Nach meiner Lehre ist beim Tetanisiren des Muskels vom Nerven aus in allen Fällen die Schwankung dem Strom in der Ruhe proportional; was am stromlosen Muskel soviel heisst, wie dass in jeder Lage des Bogens die negative Schwankung in der verhältnissmässigen Stärke hervortritt, in welcher bei derselben Lage der positive Strom in der Ruhe nach Herstellung künstlichen Querschnittes sich zeigen würde. Obschon ich mich von diesem Verhalten schon vor langer Zeit überzeugte, und es auch mit den

vollkommneren seitdem erfundenen Methoden in der Hauptsache bestätigt fand (s. oben S. 415), liess ich mich jetzt doch die Mühe nicht verdriessen, diesen Punkt nochmals ausdrücklich zu untersuchen. Bei jenen früheren Gelegenheiten hatte ich die Aenderung des Widerstandes bei verschiedener Spannweite des Bogens nicht berücksichtigt. Da diese Aenderung den Strom des ruhenden Muskels ebenso wie die Schwankung beeinflusst, kommt eigentlich hierauf nichts an; um aber Alles versucht zu haben, schaltete [362] ich jetzt ein Widerstandsrohr in den Kreis, wie wir es oben S. 413. 468 ff. anwandten. Ich bekam an Sartorius, Adductor magnus und Gracilis bei verschiedenen Graden von Parelektronomie wieder nichts zu sehen, als Abnahme der Schwankung mit der Spannweite des Bogens. Doch ist zuzugeben, dass, da sowohl nach Hrn. Hermann als nach mir dieser Erfolg zu erwarten steht, und nur eine im Verhältniss zum Strom in der Ruhe übermässige Abnahme für Hrn. Hermann sprechen würde, wie sie gelegentlich auch aus anderen Gründen vorkommen kann, die Beweiskraft der Versuche keine unbedingte ist.

Die sehnige Scheidewand, welche den Gracilis in zwei etwa gleich lange Abschnitte theilt, bereitet Hrn. Hermann neue Schwierigkeiten. Denken wir uns, dass in jedem Abschnitt die Endplatten wieder in der mittleren Querebene des Abschnittes liegen, und dass der Gracilis vom Aequator und dem einen sehnigen Ende abgeleitet wird, so kann nach Hrn. Hermann die Schwankung nur dadurch entstehen, dass in jedem der Abschnitte die Wellen nach den Enden des Muskels zu stärker abnehmen, als nach dessen Mitte. Erstens sieht man dafür am unversehrten Muskel keinen Grund. Zweitens erscheint unbegreiflich, dass aus dem Unterschied in der Abnahme der auf- und abwärts laufenden Wellen stärkere Schwankung entstehen solle, als am Sartorius, wo nicht allein die Wellen sich nicht dergestalt von einander abziehen, sondern auch einen doppelt so langen Weg zurücklegen.

Am Semimembranosus müsste wegen dessen undurchbrochenen Theiles stärkere Schwankung als am Gracilis auftreten, wovon man nichts gewahr wird.

Aehnliche Schwierigkeiten bietet Hrn. Hermann der Gastroknemius. Am stromlosen, von Haupt- und Achillessehne abgeleiteten Gastroknemius kann er die negative Schwankung nur durch die neue Hülfshypothese erklären, dass die Wellen nach unten sehr viel schneller abnehmen als nach oben, so dass bei jeder Reizung der Neigungsstrom des Kniespiegels einen Augenblick die Oberhand gewinnt. Abermals ist dafür kein Grund einzusehen. Abermals ist unverständlich, wie aus dem Unterschied der Wellen, die fast genau denselben Weg zurücklegten, die

mächtige Schwankung des Gastroknemiusstromes entspringen [363] solle, um so mehr, als die Gastroknemiusfasern im Mittel etwa fünfmal kürzer sind, als die Sartoriusfasern (s. oben S. 527).

So steht es mit Hrn. Hermann's Hypothese, wenn ihm die beiden oben S. 578 erwähnten Zugeständnisse gemacht werden. Das eine dieser Zugeständnisse ist sichtlich falsch. Mit Ausnahme des Gastroknemius sind die Muskeln in weiter Ausdehnung nervenhaltig, mit anderen Worten, die Nervenendplatten liegen nicht in der Mitte der Fasern. Es scheint also an der Bahn zu fehlen, in der die Zuckungswelle abnehmen könnte. Allein unter der Voraussetzung, dass jede Faser nur am Ort der Nervenendplatte erregt wird, lässt sich für die Hermann'sche Hypothese annähernd dieselbe Grundlage gewinnen, wie wenn alle Fasern ihre Nervenendplatten in der Mitte trügen (s. oben ebenda).

Man denke sich zwei aneinanderliegende Fasern, deren eine ihre Nervenendplatte in der Entfernung $\varepsilon$ vom einen, die andere sie in derselben Entfernung vom anderen Ende hätte. Die beiden Fasern werden vom Aequator und dem einen sehnigen Ende abgeleitet. Dann wird, wenn $\lambda$ die Länge der Fasern ist, eine Schwankung durch Abnahme der Reizwelle übrig bleiben, welche, wenn diese Abnahme dem zurückgelegten Wege proportional erfolgte, einer Länge $= \frac{\lambda}{2} - \frac{\lambda}{2} + 2\varepsilon = 2\varepsilon$ entspräche. Sie würde also kleiner sein, als wenn sämmtliche Endplatten in der Mitte der Faserlänge lägen, oder als wenn $\varepsilon = \frac{\lambda}{2}$ wäre, und sie würde für $\varepsilon = 0$ verschwinden.

Wendet man diese Betrachtung auf die im Muskel vorhandenen Faserpaare an, deren Nervenendplatten in gleicher Entfernung vom Ende liegen, so gewinnt es den Anschein, als lasse die Hermann'sche Hypothese zur Noth auch mit der thatsächlichen Anordnung der Nervenendplatten im Muskel sich vereinigen. Allein man stösst dabei auf den Uebelstand, dass dann die Schwankung bei mittelbarer Reizung schwächer ausfallen müsste als bei unmittelbarer, während das Gegentheil der Fall ist.

[364] Der Leser ist im Stande zu beurtheilen, ob viel darauf ankommt oder nicht. Gleichviel ob schon die erste Grundlage der Hypothese fehlerhaft ist oder nicht, sie trifft, wie man sah, auf soviel weitere Schwierigkeiten, dass ihr mit der Hinwegräumung des ersten Anstosses nicht geholfen ist.

5. Aus Hrn. Bernstein's Versuchen folgt nicht, dass im unversehrten Muskel die Reizwelle merklich abnehme.

Nun ist es Zeit, auch noch das andere Hrn. Hermann oben S. 578 gemachte Zugeständniss näher zu prüfen, die Annahme nämlich, dass die Reizwelle im Muskel abnehme. Hr. Hermann hatte ursprünglich diese Abnahme nur *ad hoc* erfunden. Seitdem hat er das Glück gehabt, dass Hr. Bernstein in Versuchen am Differential-Rheotom sie wirklich beobachtete. Regelmässige durch Curara entnervte Muskeln wurden vom einen Ende $A$ aus unmittelbar gereizt. Zwei ableitende Thonspitzen $\alpha$ und $\beta$ lagen symmetrischen Längsschnittspunkten an, $\alpha$ dem Ende $A$, $\beta$ dem $B$ näher. Es herrschte also kein Strom im Kreise; war einer da, so wurde er compensirt. Lief nun die Welle unter der Spitze $\alpha$ fort, so entstand eine Schwankung im Sinne, dass $\alpha$ negativ gegen $\beta$ wurde. Diese Schwankung heisst negativ, weil sie als solche sich darstellen würde, wenn Spitze $\beta$ dem Ende $B$ des Muskels selber anläge. Nach der Zeit, in welcher die Reizwelle von $\alpha$ nach $\beta$ gelangt, folgt auf die negative Schwankung eine positive im Sinne, dass nun $\beta$ negativ gegen $\alpha$ sich verhält. Wie kaum gesagt zu werden braucht, liegt die Erklärung der Erscheinung darin, dass die in Thätigkeit gerathende Strecke des Muskels minder stark elektromotorisch wirkt, und also negativ gegen den übrigen Muskel sich verhält, wie dies Czermak schon vom Wulste bei Hrn. Schiff's sogenannter 'idiomusculären Contraction' nachgewiesen hatte.[1]

Hr. Bernstein stellt nun als Regel hin, dass die nega- [365] tive Schwankung an Grösse die positive übertreffe, was auf Abnahme der Reizwelle schliessen lasse, und in der That erkennt man dies Verhalten in 5 unter den 13 von ihm mitgetheilten Versuchsprotokollen (XXXIX, XLI, XLIX, L, LI).[2]

Allein es ist nicht zu übersehen, dass mit Ausnahme eines einzigen Versuches am Gracilis (XXIX) alle diese Versuche am Sartorius angestellt sind, einem schwächlichen Muskel, der vom Augenblicke der Präparation an meist rasch abstirbt. Daher in Hrn. Bernstein's Protokollen, welche im Ganzen 23 Versuche umfassen, von denen 13 hierher gehören, zehnmal die Bemerkung wiederkehrt, der Muskel habe nur schwach gezuckt, er sei unerregbar geworden u. d. m.[3] Die Vermuthung liegt

[1] Wiener Sitzungsberichte. 1857. Bd. XXIV. S. 510; — Allgemeine Medicinische Central-Zeitung. 1861. XXX. Jahrgang. 45. Stück. S. 353.

[2] Untersuchungen über den Erregungsvorgang im Nerven- und Muskelsysteme. Heidelberg 1871. S. 64. 73—75.

[3] Nämlich in den Versuchen XI, XIII, XVII, XX, XXVII, XXXVI, XXXIX, XLII, XLV, XLVI.

daher nahe, dass die Abnahme der Reizwelle in den BERNSTEIN'schen Versuchen keine normale Erscheinung war, sondern darauf beruhte, dass die Muskeln schnell abstarben.

Ich will damit nicht sagen, dass in einer lebenden, blutumspülten Muskelfaser von unendlicher Länge die Reizwelle in's Unbegrenzte mit unverminderter Stärke fortlaufen würde. Ich halte aus theoretischen Gründen für höchst wahrscheinlich, ja für gewiss, dass mit der Zeit die Welle erlöschen müsste.[1] Eine andere Frage aber ist, ob wohl die Abnahme der Welle so schnell geschehe, dass sie in einer 10—20$^{mm}$ langen Strecke eines gut leistungsfähigen, vollends eines im lebenden unversehrten Körper befindlichen Froschmuskels bemerkbar werde. Eine so rasche Abnahme scheint nicht wohl vereinbar mit der Vorstellung, die wir uns von der Zweckmässigkeit organischer Einrichtungen machen. Zwar haben wir im Muskel schon mehrere Unzweckmässigkeiten erkannt,[2] welche zeigen, dass auch diese vollkommenste aller Kraftmaschinen, gleich dem Gebilde von Men- [366] schenhand, gleichsam nur ein Compromiss zwischen der angestrebten Leistung und den natürlichen Bedingungen ist. Um so abgeneigter werden wir der Annahme fernerer Unzweckmässigkeiten der Art sein, wie wir uns denn schon gegen die scheinbare Unzweckmässigkeit der Nervenvertheilung im Muskel abwehrend verhielten (s. oben S. 571). Dagegen kann man sehr gut sich denken, dass, je mehr der Muskel abstirbt, um so früher die Welle erlischt und um so tiefer sie in einer gegebenen Strecke sinkt, so dass ihre Abnahme in einem Froschmuskel bemerkbar wird. Schliesslich schreitet sie gar nicht mehr vor, und verharrt am Orte der Reizung selber als negativer Wulst der 'idiomusculären Contraction'.

In der That dürfen wir wohl unbedenklich die Welle der negativen Schwankung der Zuckungswelle ungefähr proportional setzen. Dann aber ist der Vorgang, wie wir ihn am entnervten quergestreiften Muskel uns denken, buchstäblich so, wie ihn Hr. ENGELMANN am Ureter sah. Da der Ureter nach ihm in weiter Ausdehnung nervenlos ist, so lässt er sich füglich solchem Muskel vergleichen. „Man kann oft schon eine halbe „Stunde nach Oeffnung der Bauchhöhle beobachten," sagt Hr. ENGELMANN, „dass von Zeit zu Zeit eine der spontanen Wellen, die kräftig aus „dem *Hilus renis* herauskommen, in ihrem Verlauf nach der Blase „schwächer wird und, meist schon im mittelsten Theile des Ureter, er„löscht. . . . Endlich erhält man statt der peristaltisch und antiperistal-

---

[1] Vergl. BERNSTEIN, a. a. O. S. 149 ff.

[2] S. meine „Experimentalkritik der Entladungshypothese u. s. w." in den Monatsberichten der Akademie, 1874. S. 522; — unten, Abh. XXXI. §. I.

„tisch vorschreitenden Wellen nur eine locale lange anhaltende Zusammen- „schnürung in den unmittelbar an den direct gereizten Fleck grenzenden „Partieen, in einer Ausdehnung von höchstens $^1/_2$ bis einigen Milli- „metern.“[1] Es dauert also eine halbe Stunde, bis in dem, im Vergleiche zu einem Froschmuskel, soviel längeren und zarteren Ureter des Kaninchens die Abnahme der Reizwelle dem Auge bemerkbar wird, und auch dann verläuft in einer der halben Länge eines Froschmuskels ungefähr entsprechenden Strecke die Welle noch ungeschwächt. Ja noch mehr. Bei hohem Leitungsvermögen des Ureters sah Hr. Engelmann sogar untermaximale Contractions- [367] wellen bis zu einem Maximum anschwellen, und dann im weiteren Verlaufe durch den Ureter anscheinend unverändert bleiben;[2] so dass hier das von Hrn. Pflüger in den Nerven behauptete Anschwellen des Reizes, welches neuerlich wieder lebhafter angefochten wird,[3] ein mit Augen sichtbares Seitenstück haben würde; es sei denn, dass das Anschwellen der Reizwelle in die Gegend des Ureters fiel, wo dieser noch Ganglienketten enthält.

In dem von Hrn. Kühne einst als ‘Porret'sches Phänomen am Muskel’ beschriebenen Versuche[4] sieht man Zuckungswellen mit scheinbar ganz unverminderter Kraft von der Anode zur Kathode laufen.

Mustert man von diesem Standpunkt aus Hrn. Bernstein's Versuche, so bemerkt man zunächst, dass in 4 von seinen 13 Versuchen (XXIX, XXXV, XLV, LIII) die positive Reizwelle die negative übertraf. Von diesen 4 ist der erste, XXIX, der einzige überhaupt am Gracilis angestellte Versuch. In den übrigen 4 von den 13 Versuchen kamen gar keine positiven Ausschläge zum Vorschein. Der Muskel war also sichtlich nicht im normalen Zustand, und in zweien dieser Fälle, XXXVI und XLII, steht ausdrücklich da: „Noch erregbar?“ und „Keine Contraction mehr“ (s. oben S. 584). Daher Hr. Bernstein selber sich einwendete, dass die negative Welle die positive in der Regel vielleicht deshalb übertreffe, weil die Erregbarkeit im Versuch abnahm. Er glaubte diesen Einwand dadurch widerlegen zu können, dass die Abnahme auch in Fällen sich kundgab, wo der Versuch mit Beobachtung der positiven Ausschläge anfing.[5] Dies schliesst aber die Möglichkeit nicht aus, dass

---

[1] Pflüger's Archiv u. s. w. 1869. Bd. II. S. 265.

[2] Ebend. 1870. Bd. III. S. 289. 321.

[3] S. Ernst Fleischl in den Wiener Sitzungsberichten. 1875. Bd. LXXII. Abth. III. Separatabdruck; — Hällstén, Irritabiliteten på olika ställen af samma nerv. Finska Läkare-Sällskapets Handlingar. Helsingfors 1875. H. 2; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1876. S. 242 ff.

[4] Archiv für Anatomie u. s. w. 1860. S. 642; — Vergl. oben Bd. I. S. 126.

[5] A. a. O. S. 64.

schon im Beginn des Versuches die Erregbarkeit soweit gesunken war, dass die negative Schwankung die positive [368] übertraf. Nimmt man einen dem Tode nahen Muskel, so wird man, mit Untersuchung der positiven Schwankung beginnend, vielleicht gar keine Wirkung mehr erhalten, während noch deutlich negative Schwankung erscheint.

Endlich ist zu bemerken, dass Hrn. BERNSTEIN's Versuche im Grunde für unseren Zweck nicht beweisend sind. Dazu müsste man den ganzen Verlauf der negativen und positiven Schwankung aufnehmen, und anstatt der Maximalordinaten die von Curve und Abscissenaxe umschlossenen negativen und positiven Flächenräume mit einander vergleichen.[1]

Noch gehört hierher Hrn. BERNSTEIN's Versuchsreihe über Geschwindigkeit der Reizung im Muskel, insofern wir die Zuckungswelle der Reizwelle ungefähr proportional setzen, in diesen Versuchen aber eine Abnahme der Zuckungswelle scheinbar bemerkbar wurde. Diesmal bediente sich Hr. BERNSTEIN, wie wir oben S. 576 sahen, nicht nur nicht des Sartorius, sondern sogar der noch zusammenhängenden Mm. gracilis und semimembranosus. Die entnervten Muskeln wurden abwechselnd von einer Stelle *a* und einer weit davon entlegenen Stelle *b* aus gereizt, und die Verdickung des Muskels an der Stelle *a* in beiden Fällen gemessen. Sie war kleiner bei Reizung von *b* aus, so dass, um sie von *a* und *b* aus gleich zu erhalten, wie der Zweck des Versuches es verlangte, bei *b* ein stärkerer Reiz angewendet werden musste. Stets lag dabei, wie Hr. BERNSTEIN ausdrücklich angiebt, *a* dem oberen, *b* dem unteren Ende des vereinten Gracilis und Semimembranosus möglichst nahe. Es ist nicht wahrscheinlich, dass die Muskeln in diesen Versuchen schnell abstarben.

Allein ein anderer Umstand beraubt letztere jeder Beweiskraft hinsichtlich der Abnahme der Zuckungswelle. Der am Punkte *b* angebrachte Reiz schritt im Gracilis nur bis zur sehnigen Scheidewand fort, welche den Muskel in einen oberen und einen [369] unteren Abschnitt theilt. Im Semimembranosus geschah theils dasselbe, theils ergriff von den durchgehenden Fasern der Reiz nur die, welche unterhalb der Stelle *b* entsprangen. Es ist also natürlich, dass die von *b* aus in *a* erregte Welle kleiner ausfiel als die in *a* selber erzeugte, und eher wunderbar, dass

---

[1] Diese Bemerkung ist um so wichtiger, als, wie Hr. BERNSTEIN, nachdem ich sie niederschrieb, mir brieflich mittheilte, die an Höhe abnehmende Reizwelle an Dauer wächst, was seine Fig. 7 nicht zeigt. Unserer Annahme $T_1 = T_2$ auf S. 578 entgegen ist $T_2 > T_1$, und die längere Dauer der Welle compensirt vielleicht ganz ihre geringere Höhe.

es gelang, durch Verstärkung des Reizes in *b* den Unterschied auszugleichen.

Auch Hr. HERMANN selber hat seitdem Versuche über Geschwindigkeit der Reizung im Muskel angestellt.[1] Da er die Abnahme der Zuckungswelle im lebenden unversehrten Körper als ausgemacht ansieht, und, abgesehen von einem Schildkrötenmuskel, wieder des Froschsartorius sich bediente, so konnte er Neues über unsere Frage nicht beibringen.

6. Neue Versuche über die angebliche Abnahme der Reizwelle im Muskel. Es fehlt an jedem Grund anzunehmen, dass sie im lebenden unversehrten Muskel abnehme, was Hrn. HERMANN's Theorie vollends stürzt.

Natürlich habe ich mich nicht auf diese kritischen Betrachtungen beschränkt, sondern zur Aufklärung meiner Zweifel eigene Versuche unternommen. Es giebt eine einfache Art zu ermitteln, ob die Reizwelle im Muskel abnehme oder nicht, bei welcher nöthigenfalls ein einziger, wenige Secunden dauernder Versuch sichere Antwort ertheilt, so dass der Muskel wenigstens während des Versuches nicht mehr an Erregbarkeit verliert, als die Erregung es mit sich bringt.

Man denke sich einen regelmässigen monomeren Muskel entnervt und im Muskelspanner immobilisirt, und jedem seiner Enden $A$ und $B$ ein Elektrodenpaar in Verbindung mit der Nebenrolle des Schlitteninductoriums angelegt. Die Elektroden sind entweder zwei Thonspitzen, oder eine Thonspitze und ein das entsprechende Knochenstück berührendes Thonschild eines Zuleitungsgefässes. In solcher Entfernung von der nächsten Thonspitze, dass man vor Stromschleifen sicher ist, liegen elektromotorisch [370] symmetrischen Längsschnittspunkten $\alpha$ und $\beta$ zwei Thonspitzen als Enden des Bussolkreises an. Es herrscht kein in Betracht kommender Strom. Nun wird von $A$ aus tetanisirt. Wäre der Muskel nicht entnervt, und würde er vom Nerven aus tetanisirt, so bliebe erfahrungsmässig das Gleichgewicht so gut wie ungestört. Am entnervten Muskel aber erregt jeder Inductionsschlag eine dem Muskel entlang laufende Welle, welche, nach Hrn. BERNSTEIN, an der Bussole erst negative, dann positive Schwankung erzeugt. Erstere findet statt, wenn die Welle unter $\alpha$, letztere, wenn sie unter $\beta$ hindurch geht. Sind beide gleich, so muss der Bussolspiegel in Ruhe bleiben. Nimmt die Welle von $\alpha$ nach $\beta$ hin ab, so überwiegt die negative Wirkung, und es muss

[1] PFLÜGER's Archiv u. s. w. 1875. Bd. X. S. 50.

im Muskel ein Strom im Sinne der fortschreitenden Welle, von $\alpha$ nach $\beta$, erscheinen. Nähme die Welle zu, so müsste ein Strom ihrem Lauf entgegen, von $\beta$ nach $\alpha$, entstehen. Legt man eine Wippe um, welche Elektrodenpaar $A$ statt $B$ in den tetanisirenden Kreis bringt, so muss, unter denselben Annahmen, der Strom umgekehrt fliessen. Um diese Wirkungen von Stromschleifen zu unterscheiden, bringt man ausser der $A$ und $B$ miteinander vertauschenden Wippe noch eine Wippe an, welche in dem gerade angewendeten Elektrodenpaare die Inductionsschläge umkehrt.

Ich habe eine grosse Anzahl solcher Versuche angestellt. Ich bediente mich des Sartorius, des Adductor magnus, des Semimembranosus und des Gracilis. Man könnte glauben, dass die beiden letzteren Muskeln durch ihre Scheidewand hierfür unbrauchbar gemacht seien. Doch kann in Hrn. Hermann's Sinne die Scheidewand keine andere Wirkung üben, als dass sie den Weg der Welle verkürzt. Der Erfolg dieser Versuche war, dass man am Sartorius stets negative Schwankung, als Zeichen der Abnahme der Welle, erhält. An den mehr leistungsfähigen Muskeln erhält man bei längerer Dauer der Versuche freilich auch negative Schwankung. Zu Anfang dagegen ist die Schwankung manchmal positiv, nicht selten doppelsinnig, erst positiv, dann negativ.

Die Wirkungen sind stets nur klein, und oft nur spurweise vorhanden. Bei den oben S. 403 geschilderten Verhältnissen der Bussole belaufen sich die positiven Wir- [371] kungen in der Regel auf 5—10 $^{sc}$, die negativen auf 20—30 $^{sc}$; selten sieht man welche letzterer Art von 70—80 $^{sc}$.

Die positiven Schwankungen rühren weder von Stromschleifen, noch, wie ich anfangs glaubte, daher, dass die intrapolare Strecke den Muskel an sich zieht, noch endlich von Neigungsströmen der Scheidewände am Gracilis und Semimembranosus, denn sie kommen auch am Adductor magnus vor, und überdies würde bei Berücksichtigung der Neigungsströme die Theorie negative Wirkung verlangen. Ich will übrigens nicht behaupten, dass die positiven Wirkungen auf Zunahme der Reizwelle zu deuten sind. Ich vermag sie nicht sicher zu erklären. Gewiss ist nur, dass der endliche Sieg der negativen Wirkung auf Rechnung des Absterbens des Muskels zu bringen, dass sie anfangs unmerklich, wenn überhaupt vorhanden, und jedenfalls viel zu unbedeutend ist, um in Hrn. Hermann's Sinne sie zur Erklärung der negativen Schwankung unter den gewöhnlichen Umständen zu verwenden.

Ursprünglich entnahm ich die zu diesen Versuchen bestimmten Muskeln curarisirten Fröschen. Da nicht entnervte Muskeln bei Versuchen über die Geschwindigkeit der Zuckungswelle bekanntlich nicht anders

sich verhalten als entnervte,[1] erwartete ich aber, dass diese Uebereinstimmung sich auch hier kundgeben würde, und wirklich war in Beziehung auf den Verlauf der Zuckungswelle, wie er in diesen Versuchen sich ausspricht, zwischen entnervten und nicht entnervten Muskeln kein sicherer Unterschied erkennbar.

Von Bedeutung ist, dass die Schwankung in diesen Versuchen völlig stetig verläuft; auch wenn sie doppelsinnig ist, sieht man den Faden zuerst nach der einen, dann nach der anderen Seite schnell und ohne Stockung sich bewegen, [und es hinterbleibt so gut wie keine Nachwirkung. Nichts beweist besser, dass diese Schwankung nicht, wie Hr. Hermann will, zur Erklärung der Schwankung an dem wegen Parelektronomie stromlosen Muskel dienen kann (s. oben S. 571)].[2]

[372] Wird der Versuch dahin abgeändert, dass man zwischen $\alpha$ und $\beta$ die Quecksilberrinnen des Rheotoms einschaltet, und in $A$ oder $B$ mittels des Rheotoms tetanisirt, so ist er einerlei mit Hr. Bernstein's oben betrachteten Versuchen an Sartorien und an einem Gracilis. Die positiven und negativen Wirkungen, welche vorher unmittelbar gegeneinander abgewogen wurden, kommen bei verschiedenen Schieberstellungen jetzt einzeln zur Beobachtung, und können miteinander verglichen werden. Ich habe dergleichen Versuche mit dem nach Obigem zu erwartenden Erfolg angestellt. An schwachen, ermüdeten, absterbenden Muskeln überwiegt die negative, an kräftigen zuweilen die positive Schwankung. Ich sagte schon oben S. 587, weshalb diese Versuche in dieser Gestalt nicht beweiskräftig sind. Die Versuchsweise hat für unseren Zweck überdies den Fehler, dass die Leistungsfähigkeit der Muskeln unter dem häufigen Tetanisiren leidet (vergl. oben S. 456).

Der Gracilis verhält sich dabei, trotz seiner Scheidewand, ganz wie ein undurchbrochener Muskel. Oefter als an anderen Muskeln wiegt an ihm die positive Schwankung vor, wie es denn auch in Hrn. Bernstein's Versuche der Fall war (s. oben S. 586). Ich weiss nicht, ob dies seiner grösseren Leistungsfähigkeit, oder seinem Baue zuzuschreiben ist.

Nach dem Allen halte ich für ganz unerwiesen, dass im lebenden unversehrten Körper, bei nicht ermüdeten Muskeln, die Reizwelle innerhalb der Länge einer Muskelspindel merklich abnehme, und da dies in hohem Grad unwahrscheinlich ist, fehlt es an jedem Grunde, solche Abnahme anzunehmen.

Nach Hrn. Hermann sind die Muskeln im lebenden unversehrten

---

[1] Aeby, Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit u. s. w. S. 47. 48; — Hermann, in Pflüger's Archiv u. s. w. 1874. Bd. X. S. 53-

[2] Hier und S. 581 ist ein im Archiv begangenes Versehen berichtigt.

Körper stromlos. Um zur Erklärung der negativen Schwankung an solchen Muskeln auch nur den ersten Grund zu legen, braucht Hr. Hermann die Abnahme der Reizwelle. Da sie nicht abnimmt, so fällt seine Theorie vorweg; aber auch wenn sie abnähme, ist diese Theorie, wie wir sahen, unhaltbar. Denn sie ist nicht allein unfähig, von vielen wichtigen, ja fundamentalen Erscheinungen Rechenschaft zu geben, sondern auch im offenbaren Widerspruch mit Thatsachen.[1]

## [373] §. XXVI. Erörterung der negativen Schwankung mit Rücksicht auf die Lehre von der Reizwelle.

Schliesslich läge uns ob, die Thatsache, dass die Zusammenziehung sich wellenförmig von den erregten Punkten aus verbreitet, unsererseits in Rechnung zu ziehen, und eine darauf gegründete Theorie der negativen Schwankung im Tetanus zu versuchen. In vierfacher Beziehung weicht unsere Be-
[374] trachtungsweise von der eben zurückgewiesenen ab. Erstens ist uns die Zuckungswelle ein Ort, wo die Muskelsubstanz zeitweilig die in ihr vor-

---

[1] Hr. Hermann hat kürzlich ein angebliches *Experimentum crucis* gegen das Vorherbestehen der elektrischen Gegensätze im Muskel beschrieben. Er hat eine Vorrichtung, welche einem im Bussolkreise befindlichen immobilisirten und compensirten Gastroknemius den Achillesspiegel schnell abstreift und eine kleine Zeit $t$ darauf den Kreis öffnet. Sinkt $t$ unter $\frac{1}{250} - \frac{1}{400}''$, so erfolgt kein Ausschlag mehr. Der entwickelte Strom giebt während derselben Frist noch mehrere Scalentheile Ausschlag. Hr. Hermann schliesst daraus, dass der elektrische Gegensatz zu seiner Entwickelung der Zeit $t$ bedürfe (Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1875. S. 705).

Er muss doch einigermaassen betroffen gewesen sein, als auch dieser letzte Versuch, das Vorherbestehen der elektrischen Gegensätze zu widerlegen, so schlecht ausfiel. Er rechnete gewiss darauf, dass mindestens ein anständiger Bruchtheil der Secunde für die Entwickelung des Stromes nöthig sein würde. Recht störend ist auch für ihn, dass die angebliche Stromentwickelung an stark parelektronomischen Gastroknemien trotz ihrer „Indolenz" eben so schnell vor sich ging, wie sonst.

Wenn sein Versuch etwas beweist, so ist es das Gegentheil von dem, was Hr. Hermann erwartete. Jeder Sachverständige sieht, dass der Gastroknemius nur deshalb im ersten Augenblick keinen Strom giebt, weil er wegen der mechanischen Verletzung seiner Fasern in negativer Schwankung begriffen ist. Hr. Hermann unternimmt zwar durch verwickelte Schlüsse und das Ziel verfehlende Controlversuche zu beweisen, dass dies nicht der Grund des beobachteten Verhaltens sei. Seine Redensarten werden aber nur solche überzeugen, so an ihn glauben. Er thäte besser, offen einzugestehen, dass sein Versuch gegen ihn spricht, und diese unfruchtbaren Angriffe auf eine Wahrheit aufzugeben, die doch nun einmal nicht zu ändern ist. Die Natur kann doch nicht, damit Hr. Hermann Recht behalte, die Muskeln ihres Stromes berauben. Auf keine bessere Art könnte Hr. Hermann die Reihe der von ihm in diesem Gebiete begangenen Fehler in Vergessenheit bringen.

herbestehenden Gegensätze ganz oder zum Theil eingebüsst hat, sei's durch Verminderung der elektromotorischen Kraft, sei's durch solche Lageänderung kleiner elektromotorischer Flächen, dass keine oder geringere Wirkung nach Aussen gelangt. Man kann daher theoretisch die Welle durch einen im Muskel wandernden Abschnitt ersetzen, den beiderseits eine negativ elektromotorische Fläche begrenzt. Zweitens haben wir zur Verfügung die stärker oder schwächer verkehrt wirkende parelektronomische Strecke am natürlichen Querschnitte, deren negativ elektromotorische Kraft bei der Zusammenziehung in geringerem Maass abnimmt, als die positive des Gesammtmuskels. Drittens berücksichtigen wir die terminale Nachwirkung, eine zeitweilige, mit der Dauer des Tetanus wachsende Verstärkung der negativen Kraft der parelektronomischen Strecke. Endlich viertens suchen wir ohne Abnahme der Reizwelle auszukommen, welche wir im lebenden unversehrten Körper läugnen; was nicht ausschliesst, dass sie im absterbenden und ermüdeten Muskel eine auch für uns beachtungswerthe Rolle spielen kann. Die innere Nachwirkung und die Ermüdung lassen wir, der Einfachheit halber, wie früher, vorläufig beiseite.

Die Grundlage für die Behandlung der negativen Schwankung von diesem neuen Gesichtspunkt aus wurde schon oben S. 578. 579 gegeben. Um die Schwankung zwischen Aequator und sehnigem Ende zur Zeit $t$, zunächst bei unmittelbarem Tetanisiren vom anderen Ende zu bestimmen, dient uns der Ausdruck für die Wirkung des tetanisirten Muskels, entsprechend unserem früheren $U_\tau$ (s. oben S. 533. 554),

$$\frac{R\mathfrak{M} + T_1\mathfrak{M}_1 + T_2\mathfrak{M}_2}{R + T_1 + T_2},$$

in welchem wir der Einfachheit halber wieder $T_1 = T_2 = T$ machen (s. oben S. 578. 587).

Es ist

[375]
$$\begin{aligned} \mathfrak{M} &= M - P - N_{(t_,)}, \\ \mathfrak{M}_1 &= a'M - P - N_{(t_,)}, \\ \mathfrak{M}_2 &= M - na'P - na'N_{(t_,)}, \end{aligned}$$

wo $M$, $P$, $N_{(t_,)}$, $n$ dasselbe bedeuten wie dort, $a'$ aber den procentischen Betrag der in der Einzelschwankung noch übrig bleibenden Kraft ausdrückt, wie früher $a$ dies für die Gesammtschwankung that. $a'$ kann also $= 0$ werden, jedoch nicht negativ (s. oben S. 515). $U_\varrho$ ist $= M - P$; folglich

$$S = \left[(1 - a')M - (1 - na')P + na'N_{(t_,)}\right]\frac{T}{R + 2T} \quad \ldots \, (*)$$

Der Ausdruck in der viereckigen Klammer ist bis auf den Unterschied

zwischen $a'$ und $a$ derselbe, zu dem wir oben S. 556 ohne Berücksichtigung der Wellenbewegung gelangten. Wir brauchen also nicht erst zu untersuchen, ob er im Allgemeinen die nöthigen Bedingungen erfülle; nur dürfen nicht $a'$ und $n$ zu klein werden, da sonst bei $P > M$ die Schwankung zu leicht positiv würde.

Nun ist die Frage, wie die Dinge beim Tetanisiren vom Nerven aus sich gestalten, unter der Voraussetzung, welche wir bis auf Weiteres doch festhalten müssen, dass die Muskelfasern nur an einem Punkt ihrer Länge innervirt werden. Dieser Punkt liegt bei verschiedenen Fasern in verschiedenen Querebenen des Muskels. Es sind zwei Fälle zu unterscheiden. Auf solche Fasern, die vom abgeleiteten Ende aus jenseit des Aequators oder in seiner Ebene ihre Endplatte haben, passt ohne Weiteres vorige Betrachtung. Hinsichtlich der Fasern, deren Endplatte zwischen Aequator und abgeleitetem Ende liegt, ist zunächst zu bemerken, dass gleichgültig ist, von welcher Seite die Welle dem Aequator sich nähert. Zweitens ist auch gleichgültig, in welcher Reihenfolge die Zeitabschnitte $R$, $T_1$ und $T_2$ mit einander abwechseln. Daraus ergiebt sich, dass Formel (*) auch für diesen Fall gilt, so lange nicht die Wellen Aequator und Querschnitt zu gleicher Zeit erreichen. Liegt die Endplatte so in der Mitte, dass die Wellen zugleich am Querschnitt und Aequator anlangen, so giebt es nur noch einen Zeitabschnitt $T$ veränderter elektromotorischer Wirkung des Muskels; der andere ist zu $R$ zu schlagen. Für $M$ erhält man Null während des Abschnittes veränderter Thätigkeit. Dadurch wird diesmal

$$S = \frac{T[M - P(1 - na')] + N_{(t_r)} \cdot [R + T(1 + na')]}{R + 2T}.$$

[376] Dieser Ausdruck erfüllt unter erlaubten Annahmen gleichfalls die oft erwähnten Bedingungen, und überdies ist er grösser als der mit (*) bezeichnete. Wir erhalten also für die Schwankung bei mittelbarem Tetanus stärkere Wirkung als für die bei unmittelbarem Tetanus, während nach Hrn. Hermann, im Widerspruch mit den Thatsachen, vom Nerven aus nur unverhältnissmässig kleinere Wirkung erfolgen könnte (vergl. oben S. 583).

Bei Ableitung des Stromes von zwei Längsschnittspunkten treten bei unmittelbarem Tetanus drei Zeitabschnitte veränderter Wirkung auf; zwei sind die schon erwähnten, in welchen die Welle unter den ableitenden Spitzen hindurchgeht, der dritte ist der, in welchem sie den Querschnitt erreicht (s. oben S. 390). Doch brauchte man, um diesen Fall genauer zu erörtern, die Kenntniss des Gesetzes, nach welchem die Strom-

kraft mit der Lage des Bogens am Muskel und zwar bei verschieden langen Muskeln sich ändert, und noch mehrerer anderen Umstände.

Es wäre um so nutzloser, diesen Mangel durch willkürliche Annahmen ersetzen zu wollen, je lückenhafter hier auch noch sonst unser Wissen ist. Nämlich es erübrigt hier nun überhaupt, die negative Schwankung durch unmittelbare Reizung planmässig bei künstlichem und natürlichem Querschnitt, an entnervten und nicht entnervten Muskeln, bei verschiedener Lage des Bogens, endlich, soweit thunlich, nicht bloss an regelmässigen, sondern auch an unregelmässigen Muskeln zu untersuchen, und unter allen diesen Umständen sie mit der Schwankung durch mittelbare Reizung zu vergleichen. Hrn. Bernstein's und meine oben mitgetheilten Versuche sind nur der erste Anfang dieser ausgedehnten und mühevollen Arbeit, bei welcher man unter anderen auf die Schwierigkeit trifft, dass der Muskel in beiden Fällen gleich stark erregt werden muss. Dies scheint nur so ausführbar, dass man beidemal den Muskel maximal erregt. Dann läuft man aber bei unmittelbarer Reizung Gefahr, durch Stromschleifen, wenn auch nicht getäuscht, doch gestört zu werden.

Bei der Erörterung dieser Versuche wird man [377] wiederum nicht vermeiden können, die oben S. 571 angeregte Frage zur erneuten Prüfung heranzuziehen, ob die Muskelfasern wirklich nur am Ort ihrer Endplatte, oder auch sonst in ihrem Verlauf erregt werden.

In dieser verworrenen Lage müssen wir die Untersuchung abbrechen. Die Fragen der nächsten Zukunft bezeichnet zu haben, ist schliesslich auch noch ein Fortschritt, und somit sei's an dieser Stelle für diesmal genug.

Seit Eduard Weber's Artikel 'Muskelbewegung' in Rud. Wagner's 'Handwörterbuch der Physiologie' hat man sich daran gewöhnt, vom thätigen Zustand der Muskeln als von einer zweiten Gleichgewichtslage der Muskeltheilchen zu reden, in welcher der Muskel bei gleichem Rauminhalte kürzer und dicker ist. Muskelton, secundärer Tetanus und die Anzeichen erhöhten Stoffverbrauches bewiesen doch längst das Unrichtige dieser Vorstellung. Wenn ich nicht irre, ist die Zeit da, wo man nicht länger zögern darf, die stets von mir gelehrte Discontinuität des Tetanus und, nach dem von Hrn. Aeby, Hrn. Bernstein und Hrn. Jendrássik[1] gegebenen Beispiele, dessen Entstehung aus Reizwellen mehr zu beachten, als bisher.

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1874. S. 513.

## §. XXVII. Anhang. Vermischte Bemerkungen über die negative Schwankung.

Aus gewissen Gründen war es wichtig, die negative Schwankung am mittelbar mechanisch tetanisirten Gastroknemius zu untersuchen. Zum Hämmern des Nerven diente der HALSKE'sche Unterbrecher mit dem von Hrn. HEIDENHAIN beschriebenen Elfenbeinhammer und Ambos.[1] Durch geeignete Versuche überzeugte ich mich, dass keine elektrische Wirkung seitens der den Elektromagnet umgebenden Rolle auf den Nerven stattfand. Der in mechanischen Tetanus verfallende Muskel gab nicht bloss negative Schwankung, sondern auch secundären Tetanus (s. oben S. 506. Anm. 3). Es lag mir nun aber daran, [378] die negative Schwankung bei mechanischem mit der bei elektrischem Tetanus zu vergleichen. Hierzu gebrauchte ich den Kunstgriff, der mir schon bei meinen Untersuchungen über die negative Schwankung des Nervenstromes gute Dienste geleistet hatte, den einen Tetanus, um mich so auszudrücken, in dem Augenblick eintreten zu lassen, wo die Ablenkung durch den anderen Tetanus gerade das Maximum erreicht hat, und die Nadel umzukehren im Begriff steht. Ist der zweite Tetanus stärker, so geht die Nadel noch weiter zurück, ist er schwächer, so kehrt sie sichtlich schneller in die der Ruhe des Muskels entsprechende Ablenkung zurück.[2] Hier wurde dies Verfahren in's Werk gesetzt, indem ich durch Umlegen der Wippe eines POHL'schen Gyrotropes ohne Kreuz den Strom eines GROVE'schen Elementes abwechselnd dem HALSKE'schen Unterbrecher und der Hauptrolle des Schlitteninductoriums zuführte. Der Nerv des Gastroknemius lag bald diesseit bald jenseit des Hammers auf einem Paare Platinelektroden, welche die Enden der Nebenrolle des Inductoriums vorstellten. Obschon der mechanische Tetanus vollkommen ausgeprägt war, und die tetanisirenden Ströme des Inductoriums nur die gewöhnliche Stärke besassen, übertraf die negative Schwankung durch den elektrischen stets sehr deutlich die durch den mechanischen Tetanus.

Nothgedrungen lasse ich hier viel Fragen unberührt, die von verschiedenen Seiten her sich zudrängen. Ich erwähne nur noch folgende.

Oben S. 413 ist die negative Schwankung im Tetanus mit künstlichem Querschnitte zu 0·4 der ursprünglichen Stromkraft angegeben. Gegen diese Bestimmung ist einzuwenden, dass sie möglicherweise nur für die angewendete Art des Tetanisirens gilt. Es wird untersucht

---

[1] Physiologische Studien. Berlin 1856. S. 127.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 448.

werden müssen, wie sich die negative Schwankung mit der Häufigkeit, Stärke und sonstigen Beschaffenheit der tetanisirenden Schläge ändert. Die Behandlung dieser Aufgabe erfordert aber vor Allem, dass man sich im Besitz einer Vorrichtung zum Tetanisiren befinde, wie sie oben [379] S. 405 Anm. geschildert wurde. Voraufgehen müsste natürlich die Untersuchung der Schwankung bei Doppelreizung u. d. m.

Eine der wichtigsten hier zu stellenden Fragen war die nach dem Verhältniss der Schwankung zu der gleichzeitig vom Muskel geleisteten Arbeit. Schon vor mehreren Jahren hat Hr. Lamansky im Heidelberger Laboratorium am Bernstein'schen Rheotom diese Frage in Angriff genommen,[1] und hat dabei, wie ich nachträglich bemerke, Hrn. Meissner's Irrlehre selbständig widerlegt, wie auch Hrn. Sigmund Mayer's Versuche über den Verlauf der Gastroknemiusschwankung bestätigt. Indem er dem Muskel etwa nur drei Schläge in der Secunde ertheilte, bis das Maximum der negativen Schwankung erreicht war, gelangte er zum Ergebniss, dass die Schwankung mit der vor der Zusammenziehung dem Muskel ertheilten Spannung wächst, also ähnlich sich verhält, wie nach Hrn. Heidenhain die Wärmeentwickelung.[2] Während aber diese auch mit der Ueberlastung zunimmt, ist nach Hrn. Lamansky die Ueberlastung ohne Einfluss auf die Schwankung. Ich habe gegen diese Versuche das Bedenken, auf welches Hr. Lamansky noch nicht kommen konnte, dass die Dehnung des Muskels durch die Belastung die Nebenschliessung verschlechtert, welche die Muskelmasse den von den Sehnenspiegeln ausgehenden Strömen darbietet. Um diesen Verdacht zu entkräften, müssten die Versuche an regelmässigen Muskeln mit thermischem Querschnitte wiederholt werden. Auch dürfte sich empfehlen, was unsere jetzigen Methoden gestatten, den Erfolg bei Einzelzuckungen statt bei unvollkommenem Tetanus zu beobachten.

Hermann Roeber zeigte durch sorgfältige Versuche, dass die elektromotorische Kraft der Muskeln durch Curara und durch das Gift der Calabarbohne erhöht wird, und führte diese auffallende Erscheinung auch sogleich auf ihre Ursache zurück, nämlich auf die an den vergifteten Muskeln bemerkbare Blutfülle. Nicht vergiftete Muskeln, an denen durch Unterbin- [380] dung Blutfülle bewirkt wurde, zeigten gleichfalls Erhöhung ihrer elektromotorischen Kraft. Mit dieser Erhöhung ging an curarisirten und calabarisirten Muskeln eine solche der mechanischen Leistungsfähigkeit Hand in Hand. Endlich auch die von Hrn. Funke entdeckte, beim

[1] Pflüger's Archiv u. s. w. 1870. Bd. III. S. 193.

[2] Mechanische Leistung, Wärmeentwicklung und Stoffumsatz bei der Muskelthätigkeit. Leipzig 1864. S. 140.

ersten Anblick so paradoxe Erhöhung der elektromotorischen Kraft curarisirter Nervenstämme führte Roeber auf dieselbe Ursache zurück.[1] Da nun an curarisirten Nerven durch Hrn. Funke eine Vergrösserung der negativen Schwankung nachgewiesen ist, so liegt die Vermuthung nahe, dass curarisirte, calabarisirte, überhaupt mit [381] Blut überfüllte Muskeln gleichfalls eine verstärkte negative Schwankung werden erkennen lassen. Es wird nicht leicht sein, hierüber zur Gewissheit zu gelangen.

Auch die negative Schwankung des postmortal gewachsenen Muskelstromes (s. oben S. 217) zu untersuchen, wäre eine wichtige, aber freilich nicht minder schwierige Aufgabe. Die Schwankung an kaltblütig gemachten Säugethiermuskeln (s. oben S. 249. 250), an Säugethiermuskeln, denen nach Ludwig's und Al. Schmidt's Methode künstlich Blut zugeführt wird,[2] an erwärmten und an abgekühlten Muskeln, besonders an Froschmuskeln, welche auf eine Temperatur erkaltet sind, wobei keine Säurung stattfindet (s. oben S. 22), wäre gleichfalls der Untersuchung werth.

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1869. S. 440. — Ich vergass, als Roeber mit diesem Gegenstande sich beschäftigte, ihn auf ältere Wahrnehmungen aufmerksam zu machen, welche mehr oder minder sicher hierher gehören. Es bleibt zweifelhaft, ob Fowler's Beobachtung hierauf zu beziehen sei, nach welcher die Muskeln eines Frosches, dessen Bein er durch Reiben mit einer Bürste entzündet hatte, stärker auf den Reiz einer Zinksilberkette reagirten (Experiments and Observations relative to the Influence lately discovered by M. Galvani etc. Edinburgh 1793. p. 128—130; — Al. Monro's und Rich. Fowler's Abhandlung über thierische Elektricität u. s. w. Leipzig 1796. S. 145). Reinhold hat diese Beobachtung an Muskeln bestätigt, die er durch Messerschnitte entzündet hatte (De Galvanismo Specimen I. Lipsiae 1797. p. 110). Matteucci verwundete Fröschen die Oberschenkelmuskeln, so dass sie hyperaemisch wurden: „Un médecin les aurait dits engorgés." Sie gaben stärkeren Froschstrom als gesunde Frösche, nicht jedoch, wenn sie aus der Wunde sich verbluteten oder wenn sie in Wasser gesetzt wurden, in welchen Fällen keine Hyperaemie entstand (Traité des Phénomènes électro-physiologiques des Animaux. Paris 1844. p. 110. 111; — Vergl. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 170). Dies beweist, dass die wahrgenommene Verstärkung nicht auf Herstellung künstlichen Querschnittes beruhte. Hr. Cima bestätigte Matteucci's Angabe (Saggio storico-critico e sperimentale etc. 1848. p. 476. §. 46). Nach Zerstörung des Rückenmarkes fanden Matteucci, Hr. Cima und Hr. Brown-Séquard den Muskelstrom verstärkt: Traité etc. p. 77. 78. (Vergl. Untersuchungen a. a. O. S. 171; — s. jedoch auch Matteucci, Leçons sur les Phénomènes physiques etc., p. 183, wo die Angabe zurückgenommen ist); — Saggio storico-critico ec. p. 486. §. 63; — Brown-Séquard in Experimental Researches applied to Physiology and Pathology. New-York 1853 (Letzteres Citat nach Valentin in Cannstatt's Jahresbericht u. s. w. 1853. Würzburg 1854. S. 216).

[2] Arbeiten aus der physiologischen Anstalt zu Leipzig. 1868. S. 1.

Ich spreche nicht von der specifischen Intensität der Schwankung bei den verschiedenen neuerlich von Hrn. Ranvier unterschiedenen Arten von Muskeln,[1] und anderen ähnlichen Aufgaben.

[1] Comptes rendus etc. 1873. t. LXXVII. p. 1030; — Brown-Séquard, Charcot, Vulpian, Archives de Physiologie normale et pathologique. Paris 1874. 2me Série. t. I. p. 5.

# DRITTE ABTHEILUNG.

---

# ELEKTRISCHE FISCHE.

XXVIII.

# Beobachtungen und Versuche an lebend nach Berlin gelangten Zitterwelsen *(Malopterurus electricus).*[1]

## §. I. Einleitung.

Wenn die elektrischen Fische jederzeit ungewöhnliches Interesse erregten, so hat dies heute sich noch gesteigert durch die Einsicht, dass das Vermögen, welches diese Thiere so lange zum Gegenstande neugierigen Staunens machte, nicht ihnen allein zukommt, sondern als besondere Anwendung eines allgemeinen Attributes erscheint, wie solche

---

[1] Neue Abhandlung. — Meine Untersuchungen über elektrische Fische finden sich an folgenden Stellen: I. Nachricht von einem nach Berlin gelangten lebenden Zitterwelse. Monatsberichte u. s. w. 1857. S. 424—429; — MOLESCHOTT's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen und der Thiere. 1858. Bd. IV. S. 97. — II. Ueber lebend nach Berlin gelangte Zitterwelse aus Westafrika. (Vortrag gehalten in der Friedrichssitzung der Akademie am 28. Jan. 1858; enthaltend eine allgemein fassliche Darstellung des bis dahin an den Zitterwelsen Ermittelten). Monatsberichte u. s. w. 1858. S. 84—111; — MOLESCHOTT's Untersuchungen u. s. w. 1858. Bd. V. S. 109. — III. Bemerkungen über Reaction des elektrischen Organes und der Muskeln. Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 846 – 848. — IV. Ueber Jodkalium-Elektrolyse und Polarisation durch den Schlag des Zitterwelses. Monatsberichte u. s. w. 1861. S. 1105—1128; — MOLESCHOTT's Untersuchungen u. s. w. 1862. Bd. VIII. S. 549. — V. Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken. Abhandlungen der Akademie 1862. Berlin 1863. 4°. Physikalische Klasse. In §. XVIII. und XIX. dieser Abhandlung, S. 148—162, sind der Froschwecker und Froschunterbrecher beschrieben, deren ich bei den Versuchen an Zitterwelsen mich bediente. — VI. Ueber die räumliche Ausbreitung des Schlages der Zitterfische. Monatsberichte u. s. w. 1864. S. 317—354; — MOLESCHOTT's Untersuchungen u. s. w. 1865. Bd. IX. S. 437. — VII. Experimentalkritik der Entladungshypothese über die Wirkung von Nerv auf Muskel. Monatsberichte u. s. w. 1874. S. 519—560. — Nr. V. findet sich im ersten Bande dieser Sammlung, S. 213—227 abgedruckt. IV, VI und VII folgen hier als Abh. XXIX, XXX und XXXI. An Stelle der drei ersten Nummern trat gegenwärtige Abhandlung XXVIII aus den in der Vorrede zu diesem Bande angegebenen Gründen.

in der Thierwelt häufig ist. Seitdem wir wissen, dass alle Nerven und Muskeln aller Thiere elektrischer Wirkungen fähig sind, haben die elektrischen Fische freilich an Wunderbarkeit verloren; aber diese Einbusse ist ihnen überreichlich durch die Hoffnung ersetzt, welche jetzt an ihre Erforschung sich knüpft, dadurch zugleich die Lösung der grossen Aufgaben der allgemeinen Nerven- und Muskelphysik gefördert zu sehen.

Um so mehr musste man bis vor Kurzem beklagen, dass von den drei elektrischen Fischen der eine uns so gut wie unbekannt geblieben war. Der Zitterroche der europäischen Küsten [1] war seit Wiederbelebung der Wissenschaften im siebzehnten Jahrhundert unzähligemal in jeder Beziehung mit stets vollkommneren Hülfsmitteln untersucht worden. Den Zitteraal hatte Alexander von Humboldt in seiner Heimath aufgesucht, und dieser Fisch war schon oft nach Europa gebracht, Jahrelang in Gefangenschaft gehalten, und von dem ersten Experimentator aller Zeiten, von Faraday selber, beobachtet worden. Ueber den Zitterwels dagegen, oder *Malopterurus electricus*, [2] der die Flüsse Afrikas bewohnt, den Alten auch schon bekannt war, und auf dem Fischmarkte von Kairo, in Bulak, keine seltene Erscheinung ist, der also nächst dem Zitterrochen der Wissenschaft am zugänglichsten schien, über diesen elektrischen Fisch besass man bis zum Jahr 1857 nur vereinzelte anatomische Angaben, welche sogar den gröberen Bau seines Organes unaufgeklärt liessen; und was seine elektrische Wirkung betrifft, so gab es, wie die Folge lehren wird, darüber zwar schon einen schätzbaren Versuch, dieser war aber in der Literatur so versteckt, dass er auch dem eifrigsten Kenner des Gegenstandes entgehen konnte (s. unten S. 620).

Diesem Mangel hat eine glückliche Verkettung von Umständen plötzlich dermaassen abgeholfen, dass jetzt vielmehr der Zitterwels dem Zitterrochen den Rang des anatomisch am besten gekannten Zitterfisches streitig macht, und dass nicht bloss daran die nächsten physiologischen Fragen beantwortet sind, sondern auch ganz neue Seiten der Erscheinung zuerst an's Licht gezogen wurden.

Der leider seitdem der Wissenschaft durch den Tod entrissene Theodor

---

[1] Der Kürze halber rede ich im Folgenden von der an Gattungen und Arten reichen Familie der Torpedineen, zu welcher Linné's Species *Raja Torpedo* anschwoll, stets nur als von dem einen der drei elektrischen Fische, unter dem Namen „Zitterroche".

[2] Hr. W. Peters hat für den von Lacépède gebildeten Namen *Malapterurus* (statt *Malakopterurus*) das wenigstens etwas richtigere *Malopterurus* eingeführt. Vergl. unten, §. IV.

Bilharz, Professor der Anatomie an der medicinischen Schule in Kairo, gab 1857 eine mit allen neueren Hülfsmitteln ausgearbeitete anatomische Beschreibung des Zitterwelses heraus.[1] Er ist darin zuerst zur Einsicht in den Bau eines elektrischen Organes gelangt. Abgesehen von den zur Stütze und Ernährung bestimmten Theilen ist nach Bilharz ein solches Organ als unmittelbare Fortsetzung des Nervensystemes zu betrachten. In einem elektrischen Organe liegen in grosser Zahl Plättchen über- und nebeneinander geschichtet, deren Substanz nach Bilharz nicht deutlich von der Substanz von Ganglienzellen sich unterscheidet, und welche mit dem elektrischen Nerven zusammenhängen. Sie sind der Sitz der Elektricitätsentwickelung, d. h. auf Befehl der elektrischen Nerven wird an allen Plättchen die nach derselben Seite hinsehende Fläche positiv, die andere Fläche negativ elektrisch. Die Plättchen werden deshalb die elektrischen Platten genannt. Die Richtung des Schlages ist stets senkrecht auf die Ebene der Platten. Im Zitterrochen, wo bei der natürlichen Stellung des Fisches die Platten wagerecht liegen, ist die Richtung des Schlages senkrecht vom Bauche zum Rücken im Organ. Im Zitteraale, wo die Platten senkrecht liegen, ist die Richtung des Schlages wagerecht, vom Schwanze zum Kopf im Organ. Beim Zitterwelse liegen, nach Bilharz, die Platten gleichfalls in senkrechter Ebene. Man wird also schliessen dürfen, dass bei diesem Fische wie beim Zitteraale, die Elektricität wagerecht strömen werde. Was aber wird die Richtung des Schlages sein? Wird die positive Elektricität vom Schwanze nach dem Kopfe zu strömen, mit anderen Worten, wird die vordere Fläche der Platten die positive, die hintere die negative werden, wie im Zitteraal, oder umgekehrt?

Auch hierüber erlaubten Bilharz' Untersuchungen schon eine Vermuthung. Der Zusammenhang der elektrischen Platten mit dem Nervensystem ist nämlich folgender. Die elektrischen Nerven lösen sich durch fortschreitende Theilung in unzählige Endzweige auf, die zuletzt in die eine Fläche der elektrischen Platten sich senken, um mit deren Substanz zu verschmelzen. Wie schon Hr. Pacini bemerkt hatte,[2] geschieht dies Einsenken der Nervenenden beim Zitterrochen und beim Zitteraal ausschliesslich in die Fläche der elektrischen Platten, welche beim Schlage negativ wird, also beim Zitterrochen in die untere, beim Zitteraal in die hintere Fläche der Platten. Beim Zitterwelse nun scheinen die Nerven

[1] Das elektrische Organ des Zitterwelses anatomisch beschrieben u. s. w. Leipzig 1857. Fol.

[2] Sulla Struttura intima dell' Organo elettrico del Gimnoto e di altri pesci elettrici. Firenze 1852. p. 25.

gleichfalls an die hintere Fläche der Platten zu treten. Bilharz schloss daher folgerichtig, dass bei diesem Fische wie beim Zitteraal im Augenblicke des Schlages die hintere Fläche negativ, die vordere positiv werden, oder dass der Schlag im Organe von hinten nach vorn gehen würde.[1] Und bei diesem Schlusse hatte er es bewenden lassen müssen, ohne ihn auf die Probe des Versuches stellen zu können. Nach seinen und nach Hrn. Markusen's Berichten[2] ist die Beschaffung lebender Zitterwelse in Kairo mit ausserordentlichen Schwierigkeiten verknüpft, welche ihren Grund in den Beschränkungen haben, denen der Fischverkauf in Bulak behufs der Steuererhebung unterliegt.

So stockte in Aegypten die Untersuchung im Augenblicke, wo sie durch die in nahe Aussicht gestellte Entdeckung eines Zusammenhanges zwischen Anordnung der Nerven und Richtung des Schlages im elektrischen Organe die spannendste Wendung genommen hatte. Da wurde von anderer Seite her unvermuthet der Weg zu ihrer Fortsetzung gebahnt.

## §. II. Lebende Zitterwelse gelangen nach Berlin. Von der Art, sie zu halten.

Schon 1855 sandten schottische Missionare aus Creek Town, einer etwa 90 km aufwärts am Old-Calabar-Strome gelegenen Ansiedelung, Weingeistexemplare des Zitterwelses nach Edinburgh. Hr. Andrew Murray glaubte in ihnen eine neue Art zu erkennen, welche er nach der Bai von Benin, in die sich der Old-Calabar-Strom ergiesst, *Malapterurus Beninensis* nannte.[3] Im Sommer 1857 unternahm Mrs. Anderson, die Gattin eines jener Missionare, drei lebende Zitterwelse von Creek Town nach Edinburgh zu bringen, und führte ihr Vorhaben, trotz unterweges erlittenem Schiffbruche, glücklich aus. In Edinburgh gelangten die Fische in Prof. Goodsir's Hände, der gerade im Begriff war, nach Berlin zu reisen. Er hatte die ausserordentliche Zuvorkommenheit, einen der Fische mitzubringen, und als er sah, dass ich bereit sei, dem Gegenstande mich hinzugeben, liess er auch noch die beiden anderen Fische nachkommen.

---

[1] A. a. O. S. 44.

[2] Bulletin physico-mathématique de l'Académie de St. Pétersbourg. t. XII. 1854. p. 203.

[3] The Edinburgh New Philosophical Journal. New Series. 1855. vol. II. p. 49. 379; — vol. III. p. 188; — Report . . of the British Association etc. 1855. Transactions of the Sections. p. 114.

Dies geschah im August 1857. Ich schilderte bei früherer Gelegenheit ausführlich die Anstalten, welche ich traf, um Leben und Gesundheit der Fische zu sichern. Es wäre zwecklos, diese Schilderung zu wiederholen, da Niemand mehr dieselben Plackereien durchzumachen haben wird. Ohnehin waren meine Bemühungen anfangs nicht sehr glücklich. Nur einer der drei Fische lebte bis in den Januar des folgenden Jahres. Dagegen werde ich die für das Halten der Zitterwelse schliesslich gewonnenen Regeln, als möglicherweise nützlich, sogleich mittheilen.

Noch zweimal seitdem erhielt ich lebende Zitterwelse aus derselben Gegend. Im Sommer 1858 kamen mir durch Goodsir und durch meinen Freund Dr. Bence Jones in London drei davon zu,[1] von denen einer sehr bald starb. Im Sommer 1859 liess Bence Jones zwei Fische durch einen Schiffscapitän über Liverpool kommen. Das Schiff, welches sie von Hull nach Hamburg brachte, hatte eine so stürmische Ueberfahrt, dass der eine Fisch todt, der andere scheinbar sterbend, mit weissen Hornhäuten und geknickten Bartfäden hier anlangte. Indem ich ihn wochenlang einem Strome frischen Wassers aussetzte, gelang es mir, ihn herzustellen, und gerade dieser Fisch lebte am längsten von allen, bis zum Herbst 1864, und wuchs ansehnlich in der Gefangenschaft.

Ich hielt zuletzt die Zitterwelse in einem Troge von 4 Fuss ($125^{cm}$) Länge, $1^1/_2$ Fuss ($47^{cm}$) Breite und 2 Fuss ($63^{cm}$) Tiefe, dessen Boden eine Schieferplatte bildete, während seine Wände aus Spiegelglas bestanden. Der Trog war bis zu $5^{cm}$ vom Rande mit Leitungswasser gefüllt, welches sich mit hinreichender Geschwindigkeit erneuerte. Um die Temperatur auf richtiger Höhe zu erhalten, stand der Trog in einem 5 Fuss ($157^{cm}$) langen, 2 Fuss ($63^{cm}$) breiten und 13 Zoll ($34^{cm}$) tiefen Zinkkasten, der mit Holz und einer Schicht Sägespäne bekleidet war, und dessen Deckel mittels einer Wergpackung an die Spiegelplatten des Troges schloss. Das Wasser im Zinkkasten wurde von einem seitlich angebrachten kleinen kupfernen Röhrenkessel aus durch einen Argand'schen Gasbrenner so erwärmt, dass ein im Troge schwimmendes Thermometer 17·5—20° C. anzeigte. Goodsir hatte mir gesagt, dass 70° Fahr. = 21·1° C. die passende Temperatur für die Fische sei. Ich fand aber zufällig, dass sie ohne bemerkbaren Nachtheil eine Temperatur von nur 15° ertrugen, und zu einer Zeit, wo ich den Trog noch mit Brunnenwasser speiste, suchte der damals ihn allein bewohnende Zitterwels immer gerade die Stelle auf, wo das nur etwa 11° warme Wasser zu-

---

[1] Sie gehörten wohl derselben Sendung an. Zwei schickte Bence Jones von London über Hamburg, den dritten hatte Dr. Turner, damals Goodsir's *Demonstrator of Anatomy*, die Güte, über Leith und Hamburg mitzubringen.

floss. Da das Thier sich im Zustande der Inanition befand, trieb vielleicht sein Instinct es dazu, durch Kälte seine Athmung, und dadurch sein Nahrungsbedürfniss, herabzusetzen; denn LIEBIG's Behauptung: „Es „ist keine schwere Aufgabe, lange Zeit den Hunger unter dem Aequator „zu ertragen, allein Kälte und Hunger reiben in kurzer Zeit den Körper „auf“ [1] — gilt nicht für wechselwarme Thiere.

Die Zitterwelse flüchten sich in's Dunkel, wenn sie irgend können. Ich bedeckte daher den Trog mit einem hölzernen, schwarz lackirten Deckel, der das Licht fast ganz abhielt, aber die Luft zuliess. Wasserpflanzen im Trog und Erde auf dessen Boden erschweren die Reinlichkeit, ohne erwiesenen Nutzen zu bringen.

Der Trog muss durch engmaschige, glatte, lackirte Gitter aus Eisendraht in soviel Abtheilungen getheilt sein, wie man Zitterwelse darin halten will, denn diese Thiere führen heftige Kämpfe, in denen sie einander verfolgen, förmlich in einander sich verbeissen, und natürlich sich erschöpfen. Sie greifen auch andere Fische wüthend an, und tödten sie mit elektrischen Schlägen (s. den folgenden §.). Ob sie bei ihren Kämpfen unter sich einander elektrisch schlagen, weiss ich nicht.

Die Zitterwelse zu ernähren, erwies sich glücklicherweise als sehr eicht. Der Darm der nach Edinburgh gelangten Weingeistexemplare enthielt Reste kleiner Süsswassercrustaceen, daher man dort und hier zuerst sich bemühte, ihnen dergleichen (*Gammarus*, *Asellus*, *Daphnia* u. d. m.) zu verschaffen. Da dies sehr schwierig war, wurde in Edinburgh versucht, die Fische mit Regenwürmern zu füttern. Dies gelang, und auch hier erhielten die Fische Würmer, so lange es im Herbste welche gab. Einer von ihnen nahm die Würmer aus der Pinzette, schluckte sie, ohne ihnen einen Schlag zu ertheilen, mit einer raschen Saugbewegung ein, und stieg darauf, wie nach mehr verlangend, an die Oberfläche, so dass man ihn bis zu einem gewissen Grad als gezähmt ansehen durfte. Als später im Jahre die Würmer uns ausgingen, kam der Wärter GRAFF darauf, den Fischen wurmähnliche Streifen Rindfleisch zu reichen, und dies verschlangen sie nicht bloss mit gleicher Begier, sondern es bekam ihnen auch sichtlich sehr gut; vielleicht besser als die gewöhnlich von Schmarotzern wimmelnden Würmer, welche daher bei den Fischen der späteren Sendungen auch im Sommer fortgelassen wurden.

Es fehlt an genauer Auskunft, wie die Welse die Reise von Afrika nach Schottland zurücklegten. Von Schottland oder England hierher wurden sie jeder einzeln mit einigen Wasserpflanzen in einem Goldfischbecken gebracht, welches in einem genau passenden, wie es schien,

---

[1] Chemische Briefe. 3. Auflage. Heidelberg 1851. S. 401.

darüber geflochtenen Deckelkorb an dessen Henkeln in der Kajüte oder dem Eisenbahnwagen aufgehängt war. Hier erfüllen die Wasserpflanzen den Zweck, das Schwanken des Wassers zu vermindern, und den Fisch vor Stössen zu schützen.

## §. III. Naturgeschichtliches. Gewohnheiten der Zitterwelse.

Mit Hülfe des reichlichen Materiales der hiesigen Sammlungen verneinte Hr. Peters, welcher selber den lebenden Zitterwels im südöstlichen Afrika beobachtete, die Frage, ob die Zitterwelse aus Westafrika eine neue Art seien. Hinsichtlich der zoologischen Eigenthümlichkeiten, welche beim ersten Blick, und bei weniger umfassender Vergleichung, zur Aufstellung einer solchen führten, kann ich auf ihn verweisen.[1]

Unsere Exemplare waren alle nur klein, ohne Bartfäden zwischen 12·5 und 27·5 $^{cm}$ lang, während Bilharz einen von 22″ = 57·5 $^{cm}$ mass. Das schnelle Wachsthum des einen, den es länger am Leben zu erhalten gelang, scheint zu zeigen, dass die Thiere noch jung waren. Meist waren es Weibchen.

Nach Weingeistexemplaren, und den ihnen entnommenen Abbildungen, kann man sich von den Zitterwelsen nicht gut eine Vorstellung machen. Namentlich die Haltung der Bartfäden ist in den Bildern verfehlt, wo sie schlaff herabhängend und geringelt erscheinen, während der gesunde Fisch sie weithin auseinanderragend geradlinig ausstreckt. (S. Fig. 42. 44).

Eine andere Eigenthümlichkeit im Aussehen der Welse, welche an Weingeistexemplaren nicht mehr recht erkennbar ist, besteht in schönen, regelmässigen, bei unseren Fischen je nach der Grösse 5—8 $^{mm}$ (bei grösseren unstreitig darüber) breiten Querfalten, die bei seitlicher Biegung an der hohlen Seite des Fisches sich zeigen. Sie werden durch das Organ gebildet, welches den Fisch in Gestalt eines dickwandigen Rohres umhüllt, und dessen äussere Schichten über den verkürzten Seitenmuskeln sich in Falten legen, während bei anderen Fischen die vergleichsweise dünne und stark befestigte Haut stets genau dem Umrisse des Rumpfes folgt.

Im Leben ist das Organ sowohl wie die es bedeckende Haut durchscheinend, so dass man bei Licht in dessen röthliche Tiefe blickt. Im Tode, besonders an Weingeistexemplaren, ist es trübe und undurchsichtig.

Weingeistexemplare sehen grau aus; im Leben erschienen unsere Fische braun, abgesehen von den schwarzen Flecken, mit denen sie auf dem Rücken wie bespritzt sind; die schwächeren gelbbraun, die kräftige-

[1] Monatsberichte u. s. w. 1868. S. 121; — Naturwissenschaftliche Reise nach Mossambique u. s. w. Zoologie. IV. Flussfische. Berlin 1868. 4⁰. S. 41.

ren mehr tief rehbraun. Auch die Farbe desselben Fisches wechselte. Im Dunkeln wurden die Fische schwärzlich, unter dem Einflusse des Lichtes wieder hell. Durch Versuche ermüdet, sahen sie bleich aus, nach einigen Tagen Ruhe erschienen sie wieder tiefer gefärbt.

Die Zitterwelse pflegten unbeweglich an der dunkelsten Stelle des Bodens ihres Behälters mit weit ragenden Bartfäden zu ruhen. Nachts scheinen sie lebhafter zu werden, wenigstens gingen in Creek Town Zitterwelse, die zur Einschiffung bereit gehalten wurden, dadurch zu Grunde, dass sie Nachts aus ihren Behältern sprangen. Wenn die Fische in den Wannen, in welchen ich sie ursprünglich hielt,[1] frisches Wasser bekamen, schwammen sie munter im Strudel umher, und entluden dabei, wie der Froschwecker lehrte (s. unten S. 616), wiederholt ihre Batterien, ob zur Abwehr vermeintlicher Gefahr oder als Ausdruck des Behagens, möchte schwer zu sagen sein. Einer der Fische hatte offenbar einen Hass auf die Elektroden des Froschweckers geworfen und fiel sie öfter mit Bissen an, die er mit mehreren rasch aufeinander folgenden Schlägen begleitete. Der Anblick der rothen Farbe, z. B. einer Siegellackstange, schien die Welse nicht nach Art der Frösche und einiger anderen Thiere aufzuregen.

Gewöhnlich erwiedern die Welse jede Berührung, auch mittels eines Nichtleiters, mit einem oder mehreren Schlägen. Zuweilen jedoch entschlüpfen sie auch der Hand mit einer heftigen Bewegung, ohne zu schlagen. Dies zeigt, dass im ersteren Falle die Schläge willkürlich und nicht bloss reflectorisch sind. Auch lehrte der Froschwecker (s. unten S. 616), dass die Fische manchmal ohne jede erkennbare Veranlassung schlugen.

Andere Fische, die man zu den Zitterwelsen in's Wasser thut, werden von diesen sofort mit elektrischen Breitseiten angefallen. Man sieht alsbald die Fische das Gleichgewicht verlieren, und mit der Flanke nach dem Lichte zu scheinbar leblos treiben. Rechtzeitig geborgen, kommen solche Fische noch zu sich. Ihrem Schicksal überlassen, sterben sie. Die drei ersten nach Edinburgh gelangten Zitterwelse erschlugen dort alle Goldfische im Wasserbecken eines Warmhauses.

Eines Nachmittages (im September 1857) that ich in jede der soeben erwähnten Wannen zu dem darin befindlichen Zitterwels einen Schlei (*Tinca Chrysitis*) von etwa 15$^{cm}$ Länge und einen eben so langen Schlammpitzger (*Cobitis fossilis*). Sofort erhob sich in den drei Wannen heftiger Tumult. Hie und da sprang ein Schlei in die Luft, während die aalähnlich sich schlängelnden Schlammpitzger,

---

[1] Sie waren einerlei mit der im folgenden Paragraphen als Versuchswanne beschriebenen.

wie von Todesangst getrieben, am Umkreise des Wasserspiegels umherjagten, und endlich einer nach dem anderen über den $2 \cdot 5^{cm}$ hohen Rand der Wanne zwischen diesem und einem die Wanne überdeckenden Drahtnetz hindurch in's Trockene sich stürzten. Wieder hineingebracht entkamen sie abermals, bis ich durch Ablassen des Wassers dem Rand die doppelte Höhe ertheilt hatte. Natürlich hätte jeder Raubfisch Schlei und Schlammpitzger in gleiche Noth versetzt, und da durch das Aufwühlen der Erde, mit welcher ich damals den Boden der Wannen noch bedeckt hielt (s. oben S. 606), das Wasser gleich getrübt wurde, so wäre ich über den eigentlichen Hergang im Dunkeln geblieben, hätte ich nicht die Vorsicht gehabt, in einer der Wannen die Elektroden des Froschweckers anzubringen. Dieser aber verrieth deutlich genug, was geschah. Seine Glocke blieb in fortwährendem Tönen, bald einen starken, bald einen schwachen Stromzweig im Nerven anzeigend, sei's dass der Fisch verschieden stark schlug, sei's dass er im Augenblicke des Schlages verschieden günstige Stellung zu den Elektroden einnahm. Manchmal schien der Hammer an der Glocke förmlich zu kleben; dann tetanisirte sichtlich der Wels sein Opfer. Nun folgte eine Zwischenzeit der Ruhe, bis vermuthlich die Schleie, aus der Betäubung erwacht, wieder anfingen, sich zu regen, und die Welse, ihrerseits ausgeruht, zu neuem Angriff aufgelegt sich fühlten. Von Neuem erhob sich dann und wann der Tumult, bald in dem einen, bald in dem anderen Gefässe; doch wurden dessen einzelne Perioden immer kürzer, und durch immer längere Zwischenräume getrennt. So verliess ich den Kampfplatz. Als ich am anderen Morgen in das Laboratorium kam, lagen die Schlammpitzger todt auf der Erde. Sie waren also Nachts doch noch über den $5^{cm}$ hohen Rand der Wannen entkommen. In den Wannen der zwei grösseren Fische waren die Schleie todt. Sie mussten schon seit geraumer Zeit gestorben sein, denn sie waren starr und ihre Hornhaut fing an sich zu trüben. Das Wasser war klar, also hatte längst Ruhe geherrscht. Die Welse schien das kleine Abenteuer nicht angegriffen zu haben. Der kleinste hatte seinen Schlei nicht zu tödten vermocht, doch starb dieser bald darauf, obschon ich ihn in ein anderes Gefäss that. Ein viertes Paar Schlei und Schlammpitzger, die ich zur Controle in einer vierten Wanne unter sonst ganz gleichen Umständen aufbewahrte, lebte noch Wochen nachher.

Ein Frosch unter dem Einflusse des Zitterwelsschlages streckt sich wie im Strychnintetanus. Wegen der giftigen Hautabsonderung der Batrachier[1] stellte ich aber damit keinen dem vorigen ähnlichen Versuch

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 17. Anm. 2. — Vergl. Gratiolet et Cloëz, Comptes rendus etc. 1851. t. XXXII. p. 592.

an. Regenwürmer liessen die Welse, ohne zu schlagen, um die Bartfäden sich ringeln (vergl. oben S. 606). Ueberhaupt aber schienen sie auf Berührung der Bartfäden nicht zu schlagen, sondern sich zurückzuziehen, dagegen sie auf Berührung der Haut, wie bemerkt, fast unfehlbar schlugen.

Als die Fische erkrankten, änderten sich ihre Gewohnheiten sehr. Ihrer Lichtscheu vergessen, und ohne durch Nähe eines Beobachters sich verscheuchen zu lassen, hielten sie sich an der Oberfläche, indem sie schnell und mühsam mit den Brustflossen arbeiteten, auch mit dem Schwanz auf nahe Gegenstände sich stützten. Dabei athmeten sie äusserst rasch, und zwar, mit dem Oberkiefer aus dem Wasser, halb Wasser, halb Luft, welche letztere sie meist aus dem Maule, seltener aus den Kiemen wieder ausstiessen, so dass sie bei jeder Athembewegung Blasen aufwarfen, und bald ein Kranz grossblasigen Schaumes sie umgab. Viele Fische, unter anderen der Zitteraal,[1] steigen an die Oberfläche, um Luft zu schnappen, allein jenes Blasenwerfen kannte unser Wärter Graff schon als Zeichen von Angst und Schwäche bei Fischen. Welse in diesem Zustande schlugen nicht mehr bei Berührung; die Bartfäden waren nicht mehr geradlinig ausgestreckt, die Haut runzelte sich und ulcerirte; in Flossen und Kiemendeckel ergoss sich Blut; endlich zuweilen erschütterte eine heftige Zuckung Kiefer und Kiemen.

In dieser Art erkrankte Fische starben rettungslos. Lüftung des Wassers mittels des Blasebalges blieb ohne allen Erfolg. Man wird wohl thun, solche Fische bei Zeiten planmässig zu tödtlichen Versuchen zu verwenden, anstatt, wie ich leider öfter that, damit zu zögern, bis die Fische todt gefunden werden, da es dann vielleicht gerade unmöglich ist, zu experimentiren, oder gar der Tod erst so spät bemerkt wird, dass die Fische auch für histologische Zwecke verloren sind. Gegen dies Missgeschick wird man übrigens nie ganz sicher sein; denn die Fische sterben auch ohne deutliche Vorboten, und da sie sich gewöhnlich ruhig in der Tiefe halten, kann ihr Tod leicht so lange unbemerkt bleiben, dass nichts mehr mit ihnen anzufangen ist.

---

[1] Vergl. Edw. Bancroft, Naturgeschichte von Guiana u. s. w. Aus dem Englischen. Frankf. u. Leipz. 1769. S. 116; — Hugh Williamson, Philosophical Transactions etc. 1775. p. 94; — Alex. Garden, ibidem. p. 102; — Humboldt, Recueil d'Observations de Zoologie et d'Anatomie comparée etc. Paris 1811. 4⁰. p. 61; — Faraday, Experimental Researches in Electricity. Reprinted from the Philosophical Transactions etc. vol. II. London 1844. p. 3. Ser. XV. §. 1753. (Die im Folgenden öfters angeführte Abhandlung Faraday's über den Zitteraal steht auch in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1842. Ergänzungsband. S. 391).

## §. IV. Versuchsverfahren am lebenden Zitterwelse.

Nach obigen Erfahrungen ist nicht zu bezweifeln, dass von den drei elektrischen Fischen der Zitterwels am besten sich eignet, um in Gefangenschaft gehalten zu werden. Der Zitterroche kommt als Seebewohner nicht in Vergleich;[1] der Zitteraal wird bei gleicher Dauerbarkeit unbequem durch seine Grösse und die Gewalt seiner Entladungen.

Von den drei elektrischen Fischen ist es aber auch wieder der Zitterwels, der zu allen Versuchen am besten sich eignet, in welchen es um Beherrschung des elektrischen Nerven sich handelt, in denen man also z. B. des elektrischen Nerven in Verbindung mit dem Organ in der Art sich bedient, wie des Muskelnerven in Verbindung mit dem Muskel. Am Zitterwelse wird jede Seitenhälfte des Organes von einem einzigen Nerven versehen, den Ein Schnitt fast ohne Blutung in grosser Länge freilegt. Der elektrische Nerv findet sich gleichsam schon von der Natur präparirt; ja derselbe Schnitt reicht für beide Nerven aus. Am Zitterrochen erhält jedes Organ vier, vergleichsweise viel kürzere Nerven, die zu ihrer Blosslegung weit künstlichere Zurichtung und grössere Verletzung erfordern, als der eine Nerv am Zitterwelse. Vollends am Zitteraale wird jede Hälfte des Haupt- und Nebenorganes von über zweihundert Nerven versehen, welche man im Leben unmöglich alle präpariren und gleichzeitig im Versuche beherrschen kann. Ich rede nicht von dem ungemeinen Interesse, welches die Untersuchung des elektrischen Nerven des Zitterwelses wegen seines in der Thierwelt bisher einzigen Baues und Ursprunges aus einer Riesenganglienzelle bietet.[2] Dazu kommt, dass die Gewebe

---

[1] Bis zur Errichtung der zoologischen Stationen war es meines Wissens nie geglückt, den Zitterrochen länger als funfzehn Tage lebend zu erhalten, und nur John Davy war so glücklich gewesen (Researches physiological and anatomical. London 1839. vol. I. p. 48; — vergl. Faraday, Experimental Researches etc. l. c. p. 2. §. 1752). John Todd, der am Cap der guten Hoffnung, also wohl an *Astrape capensis* Müll. Henl., beobachtete (Philosophical Transactions etc. 1816. p. 120), und Santi-Linari (Bibliothèque universelle de Genève. Avril 1837. t. VIII. p. 395) brachten es nur zu fünf, Matteucci gar nur zu drei Tagen (Essai sur les Phénomènes électriques des Animaux. Paris 1840. p. 52).

[2] Man konnte vermuthen, dass auch beim Zitteraale die elektrischen Nerven die Deiters'schen Fortsätze von eben soviel Riesenganglienzellen seien. Allein M. Schultze sah schon in den elektrischen Nerven gewöhnliche Nervenröhren, und in der vorderen Hälfte des Rückenmarkes auffallend viel grosse Ganglienzellen (Zur Kenntniss der elektrischen Organe der Fische. Besonders abgedruckt aus dem 4. Bande der Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Halle. 1858. 4°. S. 30. 32. 33). Dies lässt mehr auf einen Bau ähnlich dem des Lobus electricus im Gehirn des Zitterrochen schliessen (vergl. M. Reichenheim im Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 751).

des Zitterwelses, mit Inbegriff des elektrischen Organes, mir eine grosse, an die des Frosches erinnernde Lebenszähigkeit zu besitzen schienen.

Um aber diese Vorzüge des Zitterwelses auszubeuten, müsste man über eine beliebige Anzahl von Thieren verfügen, wie dies nur in ihrer Heimath möglich wäre. An zwei, drei Fischen, deren Leben schon deshalb geschont werden soll, weil auch am lebenden Thiere noch manches zu ermitteln ist, kann man keine Untersuchungen anstellen, bei welchen man, wie bei Erforschung von Nerv und Muskel, zu fast jedem Versuch ein neues Präparat braucht. Man stelle sich vor, es handele sich um Untersuchung von Nerv und Muskel, und man sei auf Ermittelung dessen beschränkt, was an zwei, drei unversehrten lebenden Fröschen sich herausbringen liesse. Diese Betrachtung kann zur Enttäuschung Derer dienen, welche sich einen übertriebenen Begriff von dem machen, was mit einigen wenigen lebenden Zitterfischen im Laboratorium aufgestellt werden kann, und denen meine Ausbeute vielleicht zu mager erscheint.

Dazu kommt, dass hier die Methoden der Untersuchung noch fast ganz zu schaffen waren. Ich theile zunächst das mit, wobei ich in dieser Hinsicht stehen blieb.

### 1. Beobachtung des Schlages der Zitterfische mit Magnetspiegel, Scale und Fernrohr.

Versuchskreis heisst fortan die irgendwie beschaffene, auch unterbrochene Leitung, in welche der Schlag der Fische zur Prüfung irgend einer seiner Wirkungen abgeleitet wird.

Gewöhnlich befand sich im Versuchskreis, um den Schlag zu messen, eine Wiedemann'sche Bussole.

In allen früheren Versuchen an Zitterfischen wurden gewöhnliche Multiplicatoren mit astatischen Nadelpaaren angewendet. Abgesehen davon, dass sie schlecht zu Messungen taugen, sind die astatischen Nadelpaare hier ganz besonders unbrauchbar. Sie werden, wie ich gelegentlich selber erfuhr, leicht in einem grösseren Winkel gegen die Windungen von einem Schlage getroffen, der bestenfalls nur sie der Astasie beraubt, vielleicht aber auch die einzelnen Nadeln fast ganz demagnetisirt, oder deren Pole umkehrt. Nirgend konnte Beobachtung der Ausschläge mit Magnetspiegel, Scale und Fernrohr besser angebracht sein, als hier, und Hr. Eckhard und ich führten sie gleichzeitig, er in Triest in die Versuche am Zitterrochen, ich hier in die am Zitterwels ein. Indem ich an der Wiedemann'schen Bussole das eine der aus 53 Windungen bestehenden Gewinde einer der Thermorollen in 25—75 $^{mm}$ Entfernung auf einen schweren, nicht astasirten Spiegel wirken liess, erhielt ich durch den Schlag des Zitterwelses angemessene Ausschläge, ohne Gefahr eines stö-

renden Einflusses auf den Magnetismus des Spiegels. Von grossem Vortheile wäre natürlich hier die Beobachtung am aperiodischen Magnete gewesen; doch war ich damals noch nicht so weit.

2. Die Ableitungsdeckel.

Der Schlag des Fisches wird im Versuchskreis um so mehr durch Nebenschliessung geschwächt, in einer je grösseren Wassermasse der Fisch sich befindet. Auch im Wasser selber wirken die Fische physiologisch um so heftiger, je kleiner dessen Masse ist. So vermochten sie hier im Troge nicht Fische zu erschlagen wie in den Wannen. Dass sie es in dem Edinburgher Wasserbecken konnten, welches gewiss nicht kleiner war als unser Trog, lag wohl an ihrer damals noch grösseren Kraft (s. oben S. 608).

Einem unbegrenzten Vorrathe von Zitterfischen gegenüber, wird ein Beobachter in ihrer Heimath nicht anstehen, die Fische aus dem Wasser zu nehmen, und so die Nebenschliessung zu beseitigen, welche das Wasser für den Versuchskreis bildet. Am Fisch in der Luft ist die schädliche Nebenschliessung auf seinen eigenen Körper eingeschränkt. Daran durfte ich nicht denken. Alles, was ich thun konnte, war, die Nebenschliessung durch das Wasser so viel wie möglich zu vermindern.

Sollte mit einem der Fische gearbeitet werden, so wurde er mit dem Kesser gefangen und in eine mit Wasser gefüllte, flach cylindrische Wanne aus Gesundheitsgeschirr (grobem Porzellan), die Versuchswanne, von 11″ (295 mm) Durchmesser und 5″ (125 mm) Tiefe übertragen. Dies ging nicht ohne heftige Schläge ab, wie man auf später anzugebende Weise erfuhr. Auf dem Boden der Wanne befand sich, zu einem gleich anzugebenden Zweck, eine unbelegte Spiegelplatte von demselben Durchmesser wie die Wanne. Mit einem Heber wurde soviel Wasser aus der Wanne abgelassen, dass der Wasserspiegel den Rücken des Fisches tangirte. Nun war die den Fisch umgebende Wassermasse so verringert, wie mit seinem Wohlbefinden während der Versuche irgend verträglich schien, und sein Schlag konnte so vortheilhaft abgeleitet werden, wie thunlich, ohne den Fisch an die Luft zu heben.[1]

Um den Schlag vom Fisch abzuleiten, bietet sich zunächst das schon von Faraday[2] am Zitteraale benutzte Mittel, dem Fische zwei Metallsättel anzulegen, welche bis auf die ihn berührende Fläche isolirt sind. Der Mitte der Wölbung des Sattels ist ein mit Guttapercha isolirter Telegraphendraht angelöthet, der als Handhabe und zum Fortführen

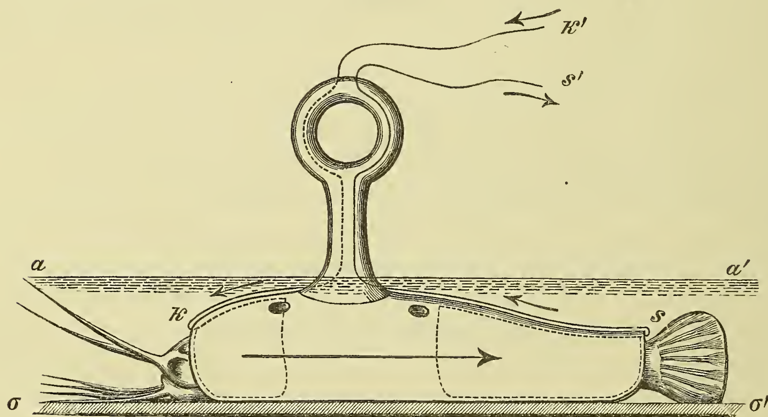
[1] Der verstorbene A. v. Bezold, der mir bei vielen dieser Versuche behülflich war, schlug vor, das Leitungswasser bei den Versuchen durch gelüftetes destillirtes Wasser zu ersetzen, um den Schlag zu verstärken.

[2] Experimental Researches etc. L. c. p. 5. §. 1758.

des Stromes dient. Nach Bedürfniss macht man die Sättel von verschiedener Gestalt und Grösse und aus verschiedenen Metallen.[1] Gewöhnlich sind es 5 $^{cm}$ lange, 1 $^{cm}$ breite, nach dem Umrisse des Fisches an verschiedenen Körperstellen gebogene Platinschienen. Aber auch die Ungleichartigkeiten von Zink verschwinden meist gegen den Schlag; anderenfalls compensirt man sie.

Handelt es sich darum, einen möglichst grossen Theil des Schlages in den Versuchskreis überzuführen, so gestaltet sich die ableitende Vorrichtung anders. Schon Faraday, der seinem Zitteraale gegenüber noch mehr Rücksichten zu nehmen hatte, als ich gegenüber meinen Zitterwelsen, dachte daran, die Nebenschliessung durch das Wasser dadurch zu vermindern, dass er den Fisch im Augenblicke des Schlages vom Wasser isolirte. Er versuchte dies aber nur mit den beiden innerhalb der Sättel befindlichen Theilen des Fisches, dagegen ich mir dasselbe auch

Fig. 42.




für den zwischen den Sätteln befindlichen Theil vorsetzte. Auch hier bot der Zitterwels grosse Vortheile dar vor dem mehr langgestreckten, seitlich beweglichen Zitteraale. Fig. 42 zeigt die Vorrichtung, mit welcher ich meinen Zweck sehr vollkommen erreichte.

Man hat sie nicht uneben einem Mumiensargdeckel verglichen. Sie besteht aus einem Guttaperchadeckel, der, wenn der Fisch auf der Spiegelplatte $\sigma\sigma'$ am Boden der Wanne ruht, dessen Körper oben und seitlich möglichst genau sich anschliesst, und mit dem unteren freien Rand die Platte berührt. $a\,a'$ ist der Wasserspiegel in der Wanne; der Deutlichkeit

---

[1] S. die folgende Abhandlung §. I. III. IV.

halber ist er höher gezeichnet, als er zu sein pflegte (s. oben). Um solchen Deckel für einen bestimmten Fisch anzufertigen, schnitzte ich aus Lindenholz ein Modell des Fisches. Dies diente als Leisten, über welchen die in heissem Wasser erweichte Guttapercha geknetet wurde. Nach Erhärtung der Guttapercha wurde sie in einer Flucht mit der unteren Fläche des Leistens abgeschnitten, der Schnittrand nochmals erweicht und auf einer mit heissem Wasser benetzten Spiegelplatte geebnet. Dem Rücken des Deckels ist ein Griff von Guttapercha angeschweisst. Kopf und Schwanz des Fisches entsprechend befinden sich im Inneren des Deckels zwei mit Schellackfirniss aufgeklebte, in der Figur punktirte Stanniolbelegungen. Diese gehen am Kopf- und Schwanzende (*k, s*) des Deckels in Stanniolstreife über, welche, durch gefirnisste Zeugstreife geschützt, dem Rücken des Deckels entlang nach dem Griffe laufen, und hier durch angelöthete Kupferplättchen mit Drähten sich verbinden. Die Drähte kommen nach isolirtem Verlauf am oberen Ende des Griffes zum Vorschein (*k'*, *s'*). Vorn und hinten blieb zur Schonung der Bartfäden und Schwanzflosse der Deckel offen.

Beim Gebrauche der Vorrichtung nimmt man den Augenblick wahr, wo der Fisch etwa den Durchmesser der Versuchswanne einnimmt, hält den Deckel wagerecht über ihm, bis er in möglichst günstiger Lage sich beruhigte, und setzt ihm den Deckel plötzlich auf. Damit die Luft zwischen den Belegungen und dem Fisch entweiche, sind an deren innerem Rande Löcher im Deckel mit einem heissen Locheisen gebohrt. Fast im nämlichen Augenblicke, wo die Belegungen ihn berühren, schlägt der Fisch; er findet sich aber bis auf die durch die Kopf- und Schwanzlücke offen gelassene Bahn ringsum seitlich isolirt, was eine bedeutende Verstärkung des Schlages im Versuchskreis erzeugt, wie folgender Versuch lehrt.

Ich verfertigte einen Deckel, der sich von einem anderen für denselben Fisch bestimmten nur dadurch unterschied, dass die Guttaperchawand zwischen seinen Belegungen entfernt und durch drei Glasstäbe ersetzt war. Es gab beispielsweise in Scalentheilen

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| der durchbrochene Deckel: | 73 | | 82 | | 71 | | 75·3 |
| der volle Deckel: | | 191 | | 141 | | 121 | 151·0 |

Die Isolirung des Fisches durch den Deckel verdoppelt also die Stärke des Schlages im Versuchskreise. Unstreitig hätten die Deckel noch besser gewirkt, wenn sie auch noch die Schwanzflosse umfasst hätten. Dass die Deckel den Fisch oft schon umschlossen, ehe dieser schlug, ergab sich daraus, dass bei deren Anwendung nicht selten der Froschwecker versagte, weil kein ausreichender Stromzweig mehr durch die Reizungsröhre ging.

Schlägt der Fisch, wie er pflegt, mehreremal nach der Reizung, so gewährt der Ableitungsdeckel auch den Vortheil, dass er die folgenden Schläge sicher in den Versuchskreis überleitet, während man mit losen Sätteln den Fisch nicht festhalten kann, ohne ihm weh zu thun.

Zwischen je zwei Versuchen stellt man den Deckel in eine benachbarte, mit Wasser gefüllte Wanne, um den Stanniolbelegungen Gelegenheit zur Abgleichung ihrer Ungleichartigkeiten zu geben: nicht neben den Fisch in dieselbe Wanne, weil dies den Fisch beunruhigt, der, vermuthlich den Deckel für einen anderen Fisch haltend, häufig ihn elektrisch schlägt (s. oben S. 608).

### 3. Froschwecker und Froschunterbrecher.

Einer der grössten Fortschritte, welche ich in der Methode dieser Versuche machte, bestand in der Ausbildung eines Kunstgriffes, dessen schon Galvani 1797 bei seinen Versuchen am Zitterrochen sich bediente,[1] in der Anwendung nämlich eines Nervmuskelpräparates vom Frosch, um dessen durch den Schlag bewirkte Zuckung zweierlei Dienste verrichten zu lassen.

Erstens zeigt das Präparat an, dass der Fisch geschlagen hat, worüber man sonst keine Gewissheit hat, da man ihm das Schlagen nicht ansieht, und Ausbleiben einer Wirkung im Versuchskreis auch daher rühren kann, dass man dem Schlag Unmögliches zumuthete. Galvani und Matteucci begnügten sich damit, dem Zitterrochen selber Froschpräparate anzulegen und deren Zuckungen zu beobachten. Ich zweigte von dem durch die Wassermasse der Versuchswanne sich ergiessenden Schlag einen Theil ab, leitete ihn durch den auf den Ringelektroden der 'feuchten Reizungsröhre' aufliegenden Nerven, und liess den Muskel seine Zuckung durch einen Glockenschlag anzeigen. So entstand der in der 'Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w.' schon ausführlich geschilderte und schematisch abgebildete 'Froschwecker',[2] auf den ich hier also nicht zurückkomme. In den dort angegebenen Grenzen der Genauigkeit erlaubt der Frosch-

---

[1] Memorie sulla Elettricità animale .... al celebre Abate Lazzaro Spallanzani. Bologna 1797. 4⁰. p. 74; — Opere edite ed inedite ec. Bologna 1841. 4⁰. p. 411. 412. — Matteucci hat sich desselben Kunstgriffes bedient, ohne Galvani zu nennen (Essai sur les Phénomènes électriques des Animaux. Paris 1840. p. 44; — Archives de l'Électricité. 1843. t. III. p. 153; — Traité des Phénomènes électro-physiologiques des Animaux. Paris 1844. p. 144; — Lezioni di Elettro-Fisiologia ec. Torino 1856. p. 2; — Corso di Elettro-Fisiologia ec. Torino 1861. p. 115).

[2] S. oben Bd. I. S. 213. — Vergl. auch die folgende Abhandlung, §. III. Fig. 44.

wecker die elektrische Thätigkeit eines in der Versuchswanne befindlichen Fisches stundenlang zu überwachen (vergl. oben S. 609). Wurden die Elektroden der Reizungsröhre mit dem eisernen Reife des Kessers und mit einem eisernen Scheibchen am Grunde des Netzes durch Drähte verbunden, so verrieth der Froschwecker die vom Fische während des Uebertragens aus dem Trog in die Versuchswanne ertheilten Schläge, welche aber meist erst zu wirken anfingen, wenn der Fisch aus der grossen Wassermasse des Troges auftauchte.[1]

Der zweite Dienst, zu welchem das Froschpräparat bei Versuchen an Zitterfischen sich eignet, ist folgender. Der Froschwecker lehrt, dass der gereizte Zitterwels, wenn er irgend bei Kräften ist, selten einmal schlägt. Meist erfolgen zwei bis drei Glockenschläge, bald dicht gedrängt, bald durch einen längeren Zwischenraum getrennt. Ohne weitere Kunstgriffe ist es also unmöglich, den Einfluss zu ermitteln, den ein bestimmter Umstand auf die Stärke des in den Versuchskreis abgeleiteten Stromzweiges übt. Denn man bleibt stets im Dunkeln darüber, ob etwa sich zeigende Unterschiede von jenem Umstand herrühren, oder von verschiedener Zahl und Folge der Schläge. Mit den gewöhnlichen mechanischen Organen war aus leicht ersichtlichen Gründen hier nichts auszurichten. Dagegen lag es nahe, das Froschpräparat mit rechtzeitiger Oeffnung des Versuchskreises nach Reizung durch den ersten Schlag zu betrauen. Bei gegebener Nervenlänge, Grösse und Leistungsfähigkeit des Muskels hebt der Muskel eine gegebene Ueberlastung stets dieselbe kleine Zeit nach verschwindend kurzer Erregung des Nerven. Diese Hebung liess sich zum Oeffnen des Versuchskreises verwenden. Es kam nur darauf an, wie die Zeitverhältnisse der Zuckung zu denen des Schlages passten, über welche man damals noch gar nichts wusste. Die ersten Versuche belehrten mich, dass die Dauer des Schlages von gleicher Ordnung mit der Zuckungsdauer ist;[2] und dies führte zum Bau des 'Froschunterbrechers', welcher in der 'Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w.' auch schon ausführlich geschil-

[1] Vergl. oben S. 613. — Schon GAY-LUSSAC beobachtete am Zitterrochen Verstärkung der Schläge bei Herausheben aus dem Wasser (HUMBOLDT, Observations etc. p. 79). Die Thatsache erinnert an das oben S. 379 beschriebene Verschwinden des Stromes eines in verdünnte Salzlösung getauchten Gastroknemius.

[2] Hr. ECKHARD zeigte gleichzeitig in Triest am Zitterrochen, dass der Schlag länger dauern müsse, als ein Oeffnungsinductionsschlag (Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Bd. I. Giessen 1858. 4°. S. 168. 169 ff.). — Hr. MAREY hat seitdem in Neapel auch am Zitterrochen den zeitlichen Verlauf des Schlages mit dem Pendelmyographion untersucht, und seine Dauer zu $1/14''$ gefunden, was mein Ergebniss bestätigt (Comptes rendus etc. 1871. t. LXXIII. p. 918). Ich brauche nicht zu bemerken, dass Myographionversuche am lebenden unversehrten Fisch auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten stossen würden, so dass ich darauf zu verzichten hatte.

dert, genau abgebildet, und auf seine Leistungen geprüft sich findet,[1] daher ich auch bei ihm hier nicht länger verweile. Wie dort gesagt wurde, ist er in bequemerer Gestalt dieselbe Vorrichtung, deren Hr. Helmholtz bei Messung der Geschwindigkeit der Reizung im Nerven nach dem Pouillet'schen Verfahren sich bediente, und diesem allgemeineren Charakter gemäss ist er seitdem in mehrfacher Beziehung wichtig geworden.[2] Hier dient er 1. um von mehreren Schlägen, welche der Fisch nacheinander ertheilt, nur den ersten in den Versuchskreis zuzulassen; 2. auch vom ersten Schlage nur einem, bei gleichem Verlauf, aber verschiedener Stärke, dieser Stärke proportionalen, je nach der angewendeten Ueberlastung kleineren oder grösseren Theile den Zutritt zu gestatten; 3. eine Nebenschliessung zu öffnen, welche bis dahin den Schlag vom Versuchskreis abhielt. Mit welchem Grade von Sicherheit der Froschunterbrecher die zweite Aufgabe löse, werden wir später (im §. X) untersuchen. Da er im Allgemeinen nur einem Theile der Entladung den Zutritt in den Versuchskreis gewährt, so versteht sich übrigens, dass bei seinem Gebrauche grössere Empfindlichkeit der Bussole nöthig wird.

An jedem Fische wurde immer nur in Zwischenräumen von mehreren Tagen gearbeitet. Ich pflegte alle zehn Minuten ihm Sättel oder Deckel aufzusetzen, und damit anderthalb bis zwei Stunden fortzufahren.[3] Mit dem Uebertragen des Fisches aus dem Trog in die Versuchswanne und zurück wurde er dann elf- bis vierzehnmal gereizt; doch ertheilte er mindestens die zwei- bis dreifache Zahl von Schlägen. Im Laufe solcher Versuchsreihe ermüdete der Fisch sichtlich. Er erbleichte (s. oben S. 608), und beantwortete das Aufsetzen des Deckels zuletzt nur noch mit Einem Schlag. In gewisser Beziehung wäre dies ganz erwünscht gewesen, doch war darauf kein Verlass, denn nicht selten wurde gegen Ende der Reihe der Fisch ungeduldig, und ertheilte unerwartet mehrere dichtgedrängte, ausnehmend starke Schläge.

Eine Schwierigkeit der Versuche an Zitterfischen, in der Gestalt, welche ich ihnen gab, besteht darin, dass dazu eigentlich immer drei Beobachter gehören, einer, der den Fisch handhabt, einer, der am Fernrohre sitzt, und einer, der den Froschunterbrecher überwacht. Nur letzterer ist allenfalls entbehrlich. Ich ergreife diese Gelegenheit, den HH. Pflüger,

---

[1] S. oben Bd. I. S. 215 ff. Taf. III. Fig. 12. 12a. — Vergl. die folgende Abhandlung, §. III. Fig. 44.

[2] In der Anm. Bd. I. S. 227, wo mehrere Anwendungen des Froschunterbrechers erwähnt sind, ist Hrn. Holmgren's mit dessen Hülfe ausgeführter Untersuchung des Verlaufes der Gastroknemiusschwankung nicht gedacht (s. oben S. 519).

[3] Vergl. oben Bd. I. S. 221.

G. Quincke und Rosenthal, welche mir damals ihre Hülfe schenkten, meinen verspäteten, nicht minder herzlichen Dank zu sagen.

## §. V. Subjective Prüfung des Zitterwelsschlages.

Im Vergleiche zu ihrer Grösse ist der Schlag der Zitterwelse überraschend heftig. Berührt man Kopf und Schwanz eines im Wasser befindlichen kräftigen Fisches mit den Zeigefingern, so erstreckt sich der Schlag freilich nicht über das Mittelhandfingergelenk hinauf. Ergreift man ihn aber mit wohl durchfeuchteten Händen, so erhält man einen schweren Schlag bis in die Elbogen. Berührt man ihn mit einer Hand, so empfindet man einen in der Haut stechenden, in Wunden brennenden, und in allen Gelenken schmerzenden Schlag im eingetauchten Theile. Die beste Art, den Schlag zu nehmen, ist mit nassen Händen gewöhnliche metallene Handhaben zu halten, welche durch lange Drähte mit den Belegungen eines Ableitungsdeckels verbunden sind, und diesen von einem Gehülfen dem Fisch aufsetzen zu lassen. Da man auf diese Art elektrische Schläge zu prüfen gewohnt ist, und da man dabei nicht zerstreut wird durch die Sorge, dass man dem Thiere gehörig beikomme, ohne ihm zu schaden, und durch das an sich widrige Gefühl, es anzugreifen: so kann man so am besten die durch den Schlag verursachte Empfindung beurtheilen. Der Schlag erscheint nicht so trocken, wie der einer Leydener Flasche, sondern hat mehr etwas Schwellendes. Oefters unterscheidet man darin mehrere Maxima. Sandte ich Oeffnungsschläge des Schlitteninductoriums, in dessen Hauptkreise zwei Grove sich befanden, bei ganz aufgeschobener Nebenrolle mit Kupferelektroden durch das Wasser der Versuchswanne, und tauchte ich beide Hände ein, so erreichten die Schläge noch nicht sicher die Stärke eines tüchtigen Fischschlages.[1] Ein Oeffnungsschlag bei ganz aufgeschobener Rolle und einer Grove'schen Kette im Kreise, durch Handhaben unmittelbar genommen, hatte etwa gleiche Stärke mit solchem Schlage.

## §. VI. Von der Richtung des Zitterwelsschlages.

Die einfachste Wahrnehmung lehrt, dass Bilharz' Vorhersage gemäss die Elektricitätsbewegung im Zitterwelsorgane seiner Länge nach geschieht. Die von Bilharz der Pacini'schen Regel entnommene weitere Muthmaassung aber, dass der Strom im Organe des Zitterwelses wie in dem des Zitteraales vom Schwanz zum Kopfe fliessen werde (s. oben S. 604), hat sich nicht bestätigt.

---

[1] Vergl. einen entsprechenden Versuch am Zitteraal unten, Abh. XXX. §. IV.

Gleich der erste Versuch, den ich am 13. August 1857 an dem von Prof. Goodsir mitgebrachten Fisch anstellte und am nämlichen Tage der Akademie mittheilte,[1] ergab das Umgekehrte von dem, was Bilharz dem mikroskopischen Befunde scheinbar mit so voller Berechtigung entnommen hatte. Es hat sich seitdem in zahlreichen Versuchen bestätigt, dass der Schlag im Organe des Zitterwelses unabänderlich vom Kopfe nach dem Schwanze gerichtet ist. Wenn eine Säule des Zitterrochenorganes, um zu einer des Zitteraalorganes zu werden, mit dem oberen Ende sich vorwärts neigen muss, so muss sie mit demselben Ende sich rückwärts neigen, um zu einer Säule des Zitterwelsorganes zu werden.

Damit schien die Hoffnung abgeschnitten, eine beständige Beziehung zwischen Endigung der Nerven und Vertheilung der Spannungen an den elektrischen Platten zu erkennen. Allein es zeigte sich ein merkwürdiger Ausweg aus dieser Verlegenheit. Hr. Ecker hatte kurz vorher im pseudoelektrischen Organe gewisser Mormyrusarten (*M. dorsalis* und *anguilloides*) beobachtet, dass die Nervenröhren, anstatt unmittelbar in die ihnen zugekehrte Fläche der pseudoëlektrischen Platten überzugehen, wie durch scharf ausgestanzte Löcher in den Platten treten, dann kolbig anschwellen und endlich rückwärts zahlreiche Ausläufer in die ihrer Verbreitungsrichtung ursprünglich abgewendete Fläche senden.[2] Max Schultze (damals in Halle) erkannte auf den Bilharz'schen Abbildungen der elektrischen Platten vom Zitterwelse Spuren eines ähnlichen Verhaltens, und er fasste den Gedanken, dass dies der Grund des Widerspruches zwischen dem von Bilharz verkündigten und dem von mir beobachteten Erfolge sein möge. Nachdem ich Schultze möglichst frische, wie auch hier in geeignete Flüssigkeiten gelegte Stücke des Zitterwelsorganes gesandt hatte, gelang es ihm, wie er glaubte, seine Vermuthung zur Gewissheit zu erheben.

Nach ihm würden die Nervenröhren zwar an die hintere positive Fläche der elektrischen Platten treten, nicht aber in sie sich senken, sondern durch ein Loch in der Mitte der Platte nach deren vorderer negativen Seite sich begeben und dort rückwärts glockenförmig sich ausbreiten. Der Rand der Glocke würde als die eigentliche Nervenendigung am Umfange des Loches mit der negativen Fläche der Platte ver-

[1] Monatsberichte u. s. w. 1857. S. 424. — Schon 1855 hatte der bald darauf verstorbene Florentiner Chirurg Ranzi, der seiner Gesundheit halber in Aegypten sich aufhielt, die Richtung des Zitterwelsschlages durch untadelhafte Versuche, mit silbernen Löffeln als Elektroden, bestimmt. Ich konnte von diesen Versuchen nichts wissen, weil sie nur in den beiden ersten Bänden des *Nuovo Cimento* gedruckt standen, welche noch viel später weder in Berlin noch in Göttingen zu haben waren, so dass ich mir eine Abschrift des Aufsatzes aus Italien verschaffen musste (vergl. Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 209).

[2] Untersuchungen zur Ichthyologie u. s. w. Freiburg i. B. 1857. 4°. S. 29.

schmelzen.[1] So bliebe die PACINI'sche Regel bestehen, wonach von den Flächen einer elektrischen Platte im Augenblicke des Schlages negativ stets die ist, in welche die Nerven sich versenken; nur dass beim Zitterwels und bei jenen Mormyrusarten, vermöge der beschriebenen sonderbaren Einrichtung, die nach dieser Regel scheinbar negative Fläche zur positiven wird, und umgekehrt.

SCHULTZE's Nachfolger verwerfen diese Erklärung. Die Membran, zu welcher der Nerv sich ausbreitet, lässt sich ihrer Beschaffenheit nach kaum als flächenhafter Nerv deuten, und man muss gestehen, dass man sie ebenso sehr in querer Ebene unmittelbar in die Platte sich fortsetzen, wie glockenförmig mit ihrem Rand dem vorderen Umfange des Loches aufstehen sieht.[2]

Noch ein bisher unbeachtet gebliebener Grund lässt sich gegen die PACINI'sche Regel geltend machen. Angeblich ist Hrn. ROBIN geglückt, was JOH. MÜLLER und MATTEUCCI misslang, dem pseudoëlektrischen Organe des gewöhnlichen Rochen einen Schlag zu entlocken.[3] In diesem Organ enden die Nerven an der vorderen Seite der Platten. Die Richtung des Schlages müsste also, wie schon MAX SCHULTZE vermuthete, dieselbe sein wie beim Zitterwelse.[4] Nach Hrn. ROBIN wäre sie die umgekehrte.[5] Ihm selber entging die Tragweite seiner Angabe; nicht zu verwundern, da er nicht einmal wusste, dass bei Zitteraal und Zitterwels der Schlag verschiedene Richtung hat.[6]

---

[1] Zur Kenntniss der elektrischen Organe u. s. w. A. a. O. S. 14. 15.

[2] Vergl. R. HARTMANN im Archiv für Anatomie u. s. w. 1861. S. 661; — F. BOLL in SCHULTZE's Archiv für mikroskopische Anatomie. 1873. Bd. X. S. 242; — BABUCHIN, im Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1875. S. 131. 132.

[3] S. meine Berichte in den Fortschritten der Physik im Jahre 1846 u. s. w. II. Jahrgang. Berlin 1848. S. 469; — im Jahre 1847. III. Jahrgang. 1850. S. 440; — vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 207. — Hr. PETERS erhielt nie einen Schlag von den Mormyri. Eben so wenig war den Eingeborenen irgend eine auffallende Eigenschaft dieser Fische bekannt. Es kamen ihm aber abgemagerte Exemplare vor, deren elektrische Organe bis auf die sehnige Scheide verkümmert waren. Leider konnte er nicht ermitteln, ob dies auf individuellen Unterschieden beruhte, oder ob es um periodische, von Jahres- und Laichzeit abhängige Zustände sich handelte (Naturwissenschaftliche Reise nach Mossambique u. s. w. A. a. O. S. 33). Weitere Zeugnisse über Unwirksamkeit der Organe von Mormyrus s. bei HARTMANN, im Archiv für Anatomie u. s. w. 1861. S. 653. — Hr. BABUCHIN dagegen berichtet über einen Schlag von Mormyrus (Centralblatt u. s. w. A. a. O. S. 163). — GOODSIR theilte mir die Vermuthung mit (ob er sie gedruckt hat, weiss ich nicht), dass die pseudoëlektrischen Organe des gemeinen Rochen nur während der Brunst elektrisch thätig seien.

[4] Archiv für Anatomie u. s. w. 1858. S. 213.

[5] Comptes rendus etc. 1865. t. LXI. p. 239; — Journal de l'Anatomie et de la Physiologie etc. Par M. CH. ROBIN. 2me Année. 1865. p. 507. 577.

[6] „*Ainsi dans l'appareil électrique des raies, comme sur le*

## §. VII. Physikalische Untersuchung des Zitterwelsschlages.

Die Entdeckung der Leydener Flasche gegen Mitte des vorigen Jahrhunderts machte den Theorien der älteren Physik über den Schlag der Zitterfische, dessen Erklärung durch betäubende Effluvien oder mechanische Erschütterung, rasch ein Ende. Nachdem schon 1751 Adanson am Senegal die Aehnlichkeit des Leydener Schlages und der durch den Zitterwels bewirkten Empfindung erkannt hatte,[1] entstand das Bestreben, die Einerleiheit der Ursache beider Erscheinungen auch noch anders zu beweisen. Man suchte mittels des Zitterfischschlages auch noch andere Wirkungen der Elektricität nachzuahmen, insbesondere zu zeigen, dass Leiter und Nichtleiter beider dieselben seien. Trotz den Bemühungen von Walsh,[2] Cavendish,[3] Configliachi[4] und anderen blieben aber in dieser Beziehung noch Zweifel genug übrig, um Humphry Davy[5] kurz vor seinem Tode zum Ausspruch zu veranlassen, die Elektricität der Zitterfische möchte eine von der gewöhnlichen verschiedene sein. Zwar stellte nur vier Jahre später Faraday die Einerleiheit aller Elektricität, gleichviel welchen Ursprunges, als obersten Grundsatz der Elektricitätslehre hin; allein in der Tabelle über die von den fünf Elektricitäten — der Volta-schen, Reibungs-, Magneto-, Thermo- und thierischen Elektricität — zum Beweis ihrer Einerleiheit zu erhaltenden acht Wirkungen musste Faraday bei der thierischen Elektricität noch immer vier Felder offen lassen, nämlich Funke, thermische Wirkung, Anziehung und Abstossung, und Leitung durch heisse Luft.[6] Die drei ersteren Wirkungen sind seitdem am Zitterrochen und, zum Theil durch Faraday selber, am Zitteraale gewonnen worden, und die ganze Sachlage ist der Art, dass wohl Niemand im Ernste zweifeln würde, dass die Elektricität auch des Zitterwelses gewöhnliche Elektricität sei. Doch glaubte ich, die Gelegenheit nicht unbenützt lassen zu dürfen, um auch für diesen Fisch die Faraday'sche Tabelle

---

*gymnote et le malaptérure, le courant est constamment dirigé de l'extrémité céphalique vers l'extrémité caudale*" (d. h. im Multiplicatordraht). „*La direction du courant montre que le pôle positif est toujours vers sa partie antérieure, et le pôle négatif vers sa partie postérieure*" (Journal etc. l. c. p. 588).

[1] Reise nach Senegall übersetzt von Martini. Brandenburg 1773. S. 201.

[2] Philosophical Transactions etc. 1773. p. 461.

[3] Ibidem, 1776. p. 196.

[4] L'Identità del Fluido elettrico col cosi detto Fluido galvanico vittoriosamente dimostrata ec. Pavia 1814. 4⁰. p. 141. §. 111.

[5] Philosophical Transactions etc. 1829. p. 17.

[6] Experimental Researches etc. Vol. I. London 1839. p. 99 sq. Series III. 1833. §. 351 sq.

soweit wie möglich auszufüllen. Ein Theil der hier zu beschreibenden Versuche ist noch ohne Ableitungsdeckel, mit einfachen Metallsätteln, angestellt. Da sie mit den Deckeln vollends gelungen wären, habe ich die Darstellung nicht durch Angabe der jedesmaligen Art der Ableitung unnütz verzögert.

### 1. Elektrolyse.

Von der physiologischen Wirkung und von der Ablenkung der Magnetnadel war schon die Rede. Die Elektrolyse anlangend, habe ich zuerst, mit Hülfe des Froschunterbrechers, die Polarisation der Elektroden durch den Zitterfischschlag beobachtet, insofern eine schätzbare Wahrnehmung, als sie die mir nicht gelungene, und schwer, wenn überhaupt gelingende Wasserzersetzung[1] entbehrlich macht.

Bei der Jodkalium-Elektrolyse gab sich der sonderbare Umstand zu erkennen, der von den Beobachtern am Zitterrochen und Zitteraal übersehen worden sein muss, dass unter jeder Spitze ein Fleck erschien. Ich machte die beiden eng mit einander verknüpften Wirkungen, Polarisation und secundären Jodfleck, zum Gegenstand einer besonderen Untersuchung, welche man in der folgenden Abhandlung findet. Hier war es vorzüglich, wo der Froschunterbrecher mir kaum anders zu erlangende Dienste leistete.

Um Wasserzersetzung zu beobachten, schloss ich zwei sehr feine Platindrähte in eine Guttaperchasäule ein, aus welcher mit jenen zusammenhängende Kupferdrähte ragten. Ich durchschnitt die Säule senkrecht auf die Drähte, welche nun als zwei Platinpunkte in 2·5 mm Abstand auf der Schnittfläche erschienen, benetzte die Fläche mit den von John Davy angewendeten Flüssigkeiten — Schwefelsäure ($SO_4H_2 : H_2O :: 1 : 1$) und gesättigter Kochsalzlösung — und betrachtete die Platinpunkte bei angemessener Vergrösserung. Ein Schlag des Schlitteninductoriums entwickelte Blasen an der negativen Spitze; aber alle Bemühungen, das Gleiche mit dem Fischschlage zu sehen, scheiterten. Eben so wenig gelang es, einen Kupferniederschlag aus Kupfersulphatlösung auf die negative Elektrode zu beobachten. Es wäre noch zu versuchen gewesen, die positive Spitze durch eine Platte zu ersetzen, doch kam ich nicht dazu.

### 2. Ueberwindung von Widerständen durch den Zitterwelsschlag. Dessen Schlagweite.

Gänzlich misslang auch Leitung des Schlages durch zwei 75 mm lange, 40 mm breite Kupferplatten, die in 1—3 mm Abstand in der Flamme

---

[1] John Davy giebt an, mit Gold- und Platindrähten (Researches, physiological and anatomical etc. vol. I. p. 15.), Santi-Linari mit Eisendrähten (Bibliothèque universelle de Genève. 1837. t. VIII. p. 395) Wasser zersetzt zu haben.

einer Berzeliuslampe einander gegenüber standen, wobei an der Bussole Hankel's Flammenströme sich zeigten.[1]

Nie glückte es, den Schlag die kleinste Lücke zwischen feststehenden metallischen Leitern unter Funkenbildung überspringen zu sehen. Ich verdankte der Güte meiner Freunde, der HH. Siemens und Halske, ein Funkenmikrometer, an welchem ich zwei Platinspitzen einander bis auf $0 \cdot 0100^{\mathrm{mm}}$ nähern konnte; auch stellte ich mit dem Messer in aufgeklebten Stanniolstreifen auf Objectträgern Spalte dar, welche nicht breiter waren als $0 \cdot 0033$—$0 \cdot 0050^{\mathrm{mm}}$. Nie gelang es, bei mikroskopischer Beobachtung im Dunkeln, damit einen Funken vom Zitterwelse zu erhalten.

Dagegen fand ich zu meinem Erstaunen, dass der Nebenstrom des Schlitteninductoriums noch bei $90^{\mathrm{mm}}$ Abstand der Nebenrolle von der Hauptrolle diese Spalte unter Funkenbildung übersprang. Mein Erstaunen wuchs aber noch, als sich ergab, dass diese Schläge nicht nur zwischen Handhaben, sondern auch an der Zunge ganz unmerklich waren, obschon die Funken zu erscheinen fortfuhren. Sogar im Kreise befindliche Gastroknemien blieben unerregt. War ihr Nerv im Kreise, so zeigten sich Zuckungen, wie auch, wenn den im Kreise befindlichen, selber nicht zuckenden Gastroknemien der Nerv des stromprüfenden Schenkels angelegt wurde. Letztere Zuckungen waren aber, wie sich leicht beweisen liess, unipolaren Ursprunges.[2] Bei öfterer Wiederholung des Versuches, und besonders wenn die Schläge etwas verstärkt wurden, schmolz der Spalt leicht zu.

In diesen Versuchen offenbart sich auf's Neue, und, wenn ich nicht irre, deutlicher als bisher, der immer schon wahrgenommene Widerspruch zwischen der Stärke des Zitterfischschlages bei sonstiger Prüfung, und seiner Schlagweite. Stets wunderte man sich darüber, dass eine so gewaltige Entladung, wie die des Zitteraales, so empfindlich gegen Hindernisse auf ihrem Wege sich zeige, nicht durch die Flamme,[3] ja nicht durch lose hängende Ketten aus unedlem Metall[4] gehe, und mit trockenen

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1850. Bd. LXXXI. S. 213; — Elektrische Untersuchungen. Ueber das Verhalten der Weingeistflamme in elektrischer Beziehung. (Aus den Abh. d. math.-phys. Classe d. Kgl. Sächsischen Gesellschaft d. Wiss.) Leipzig 1859.

[2] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 423 ff.

[3] Humboldt in den Observations de Zoologie et d'Anatomie comparée etc. Paris 1811. 4°. p. 84.

[4] Rittenhouse und Kinnersly (1770) in: The Philadelphia Medical and Physical Journal by Benj. Smith Barton. vol. I. 1805. P. II. p. 96; — Walsh, Philosophical Transactions etc. 1773. p. 465; — Williamson, ibidem, 1775. p. 99. — Deshalb legte John Davy solchen Werth darauf, dass der Zitterrochenschlag eine goldene Kette durchdrang (Researches etc. l. c. p. 8. 9).

Kupferhandhaben kaum noch verspürt werde.[1] Dieses Verhaltens wegen zweifelte man lange an der Einerleiheit der von den Zitterfischen ausgehenden Kraft mit der gewöhnlichen Elektricität, und umsonst suchte Cavendish, in jener seiner Zeit weit voraufeilenden theoretischen Untersuchung über die Zitterfische, diese Schwierigkeit dadurch zu beseitigen, dass er den Zitterfischschlag mit dem einer Batterie grosser Capacität, aber geringer Spannung verglich, der auch schlecht durch eine Kette gehe.[2]

Ich nun zeige vollends ganz unmittelbar, wie unvergleichlich überlegen an Schlagweite die von unseren Apparaten erzeugten Schläge dem Zitterfischschlage sind. Allein ich bin auch in der Lage, die allen früheren Erforschern der Zitterfische entgangene Lösung dieses Räthsels zu geben.

In zwei Leitungen $A$ und $B$ vom Widerstande $\lambda$ sollen gleich starke Ströme $I_a = I_b$ fliessen. Zur Leitung $B$ sei eine Nebenschliessung vom Widerstande $\lambda_1$ angebracht, während die Leitung $A$ eine Strecke eines unverzweigten Kreises ausmacht. Wird der Widerstand $\lambda$ der beiden Leitungen um die gleiche Grösse $\delta$ erhöht, so lässt sich zeigen, dass $I_b$ dadurch mehr an Stärke verliert als $I_a$. Sei $E$ die elektromotorische Kraft im unverzweigten Kreise, von welchem $A$ eine Strecke ausmacht, $n$ eine Constante $> 1$, $w$ der wesentliche Widerstand in beiden Kreisen, so haben wir

$$\frac{E}{w + \lambda} = \frac{nE.\lambda_1}{w\lambda_1 + w\lambda + \lambda\lambda_1}.$$

Addirt man zu $\lambda$ beiderseits $\delta$, so erhält man

$$\frac{E}{w + \lambda + \delta} \gtrless \frac{nE.\lambda_1}{(w + \lambda_1)(\lambda + \delta) + w\lambda_1}.$$

Setzt man für $n$ seinen Werth aus obiger Gleichung, so ergiebt sich die linke Seite der Ungleichheit als die grössere.

Man kann den Beweis auch so führen, dass man

$$I_a = \frac{E}{w + \lambda} \text{ und } I_b = \frac{nE.\lambda_1}{w\lambda_1 + w\lambda + \lambda\lambda_1}$$

nach $\lambda$ differenzirt, und die Quotienten

$$\frac{dI_a}{I_a} \text{ und } \frac{dI_b}{I_b}$$

bildet. Ohne Rücksicht auf das Zeichen ist letzterer der grössere; und auf beide Arten findet man den Unterschied zu Gunsten der Leitung $A$ um so grösser, je grösser der wesentliche Widerstand $w$.

---

[1] Faraday, l. c. p. 5. §. 1760.

[2] L. c. p. 217—222. 224. 225. — Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 563.

Dies ist ein Bild dessen, was beim Vergleichen der Elektricitätsquellen unserer Laboratorien mit dem Zitterfischschlage sich ereignet. Bei jenen vermeiden wir sorglich jede Nebenschliessung; auch an dem aus dem Wasser entfernten Zitterfische bleibt noch immer die Nebenschliessung durch seinen eigenen Körper bestehen (s. oben S. 613). Wie ich schon in meiner ersten Arbeit betonte, stets ist sein Schlag durch Nebenschliessung gewonnen.[1] Der wesentliche Widerstand des Organes ist sehr beträchtlich. Daher bei gleicher Stärke eines Zitterfisch- und eines Inductionsschlages, ja bei ungleich geringerer Stärke des letzteren, dieser vergleichsweise ungeschwächt viel grössere Widerstände verträgt, als ersterer.

Hieraus fliesst die wichtige Regel, bei Zitterfischversuchen sich nicht durch den grossen wesentlichen Widerstand täuschen zu lassen, sondern stets den Widerstand des Versuchskreises möglichst zu verkleinern. Weiter folgt daraus die Zweckmässigkeit einer Vorrichtung, welche, wie die beschriebenen Ableitungsdeckel, die Nebenschliessung zum Versuchskreise möglichst vermindert.

### 3. Trennungsfunken.

Um den Trennungsfunken zu beobachten, muss der Versuchskreis im Augenblick und möglichst genau auf der Höhe des Schlages plötzlich geöffnet werden. Faraday erreichte dies anfangs auf die einfachste Art, indem er mit je einem der dem Zitteraal aufgesetzten Sättel eine Feile verband, und mit der einen Feile der anderen entlang fuhr. Dann bediente er sich eines Zahnrades, an dessen Umfang eine Feder schleifte.[2] Ich ahmte diese Versuchsweise nach, indem ich zuerst ein mit der Hand 3—4 mal in der Secunde gedrehtes Savart'sches Rad von 400 Zähnen benutzte. Um des Drehens überhoben zu sein, nahm ich dann ein Zahnrädchen von 50 Zähnen, welches durch das von Hrn. Grüel zu Versuchen an Farbenscheiben[3] construirte Uhrwerk 9—10 mal in der Secunde gedreht wurde. Der Funke durch den Zitterwelsschlag wurde auf beide Arten ziemlich oft wahrgenommen, jedoch, soviel sich darüber urtheilen liess, besser mit dem Savart'schen Rad als mit dem Zahnrädchen. Vielleicht rührte dies von der am Savart'schen Rad 3—4 mal grösseren Zahl der Unterbrechungen, wahrscheinlicher davon her, dass am Zahnrädchen die schwächere Berührung der Feder mit den Zähnen und die

---

[1] Vorläufiger Abriss u. s. w. Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 30. §. 76.

[2] L. c. p. 7. §. 1767.

[3] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1848. Bd. LXXV. S. 525.

schlechtere Leitung in den Achsenlagern den Schlag nach obigem Princİpe mehr als am SAVART'schen Rade schwächten.

Da der Froschunterbrecher bei hinreichender Ueberlastung den Schlag ungefähr in der Mitte seines Verlaufes unterbricht, müsste er eine neue, und, wie es scheint, die sicherste Art abgeben, den Trennungsfunken darzustellen. Ich habe diesen Gedanken noch nicht hinreichend verfolgt. In den wenigen danach ausgeführten Versuchen zeigte sich der Ort zwischen Stützstift und Stützplatte bei der jetzigen Gestalt des Unterbrechers so ungünstig für die Beobachtung, dass auf deren Misslingen nichts zu geben ist.

### 4. Induction.

Wurde eine Rolle von 720 Windungen eines $1 \cdot 1^{mm}$ dicken Kupferdrahtes, deren $25^{mm}$ weite Lichtung mit weichen Eisendrähten gefüllt war, in den Kreis aufgenommen, so verstärkte der Extrastrom natürlich den Funken sehr.

Induction in einer Nebenrolle durch den Fischschlag war meines Wissens noch nicht beobachtet, und sie giebt Gelegenheit zu einer lehrreichen Wahrnehmung. Als der Schlag durch die Hauptrolle eines RUHMKOFF'schen Inductoriums gesandt wurde, deren Abtheilungen zu halber Länge und doppelter Dicke verbunden waren, erhielt ein zwischen kupfernen Handhaben in den Kreis der Nebenrolle eingeschalteter Beobachter einen Schlag. Befanden sich im letzteren Kreise die Platinspitzen des Funkenmikrometers, so sah man regelmässig zwei Funken, einen grösseren und unmittelbar darauf einen kleineren, zwischen den Spitzen überspringen. Da diese Versuche noch ohne Froschunterbrecher angestellt wurden, wäre möglich, dass die beiden Funken von zwei verschiedenen Schlägen herrührten, allein die Regelmässigkeit ihres Auftretens macht mich glauben, dass sie dem Anfangs- und Endstrom angehörten, welche selber dem Auf- und Abschwellen eines und desselben Schlages entsprachen. Interessant und wichtig ist nun aber, dass obigem Principe gemäss es auf diese Art gelingt, vom Fisch einen Strom zu erhalten, welcher eine Lücke zwischen feststehenden Metallen überspringt. Dass jenes Princip hier wirklich herrscht, scheint daraus zu folgen, dass die Funken ausblieben, wenn die Abtheilungen der Hauptrolle zu doppelter Länge und halber Dicke verbunden wurden.

### 5. Magnetisirung.

Die Wirkung der Drahteinlage in der bei Darstellung des Trennungsfunkens benutzten Rolle ist auf Elektromagnetisirung weichen Eisens zurückzuführen.

Sechs 37 mm lange, 0·7 mm dicke, völlig unmagnetische Nähnadeln wurden, durch Wachs getrennt, in die 8 mm weite Lichtung einer Rolle gesteckt, welche aus 735 Windungen eines 0·4 mm dicken Kupferdrahtes bestand. Drei Schläge vom Zitterwelse reichten hin, die Nadeln im richtigen Sinne stark, jedoch nicht zur Sättigung zu magnetisiren. Zehn einzelne Oeffnungsschläge des Schlitteninductoriums (Ein Grove, Rolle ganz aufgeschoben) machten die Nadeln nicht merklich magnetisch; dies that erst der während einiger Zeit durch die Rolle geleitete Funkenstrom, dieser aber etwas stärker als der Fischschlag.

### 6. Elektrische Anziehung.

Für das sicherste Anzeichen der Elektricität galt jederzeit deren am längsten bekannte Wirkung: elektroskopische Anziehung und Abstossung. Ich übergehe meine vergeblichen, übrigens wenig nachhaltigen Versuche, um eine Leydener Flasche oder einen Condensator durch den Fisch zu laden. Diese Aufgabe wurde seitdem durch Hrn. Armand Moreau am Zitterrochen sehr vollkommen gelöst.[1] Ich beobachtete aber die elektrische Anziehung zweier Goldblätter durch die Elektricitäten des Zitterwelsschlages mehreremal in der schönen, von Hrn. Gassiot[2] angegebenen Art. Das oben erwähnte Funkenmikrometer war so hergerichtet, dass an Stelle der einander zu nähernden Platinspitzen zwei schwanenhalsförmig gebogene Kupferdrähte traten, von denen Goldblätter einander gegenüber herabhingen. Ein Glasgehäuse hielt den Luftzug ab. Bei 3 mm Abstand der Blätter war ihre Bewegung im Augenblicke des Schlages zweifelhaft. Bei 2 mm Abstand zogen sie einander deutlich an. Bei kleinerem Abstande flogen sie zusammen, eine prachtvoll grüne Feuererscheinung leuchtete auf und liess die Blätter zusammengeschmelzt zurück. Es gelang dann öfters, sie mittels der Mikrometerschraube unbeschädigt auseinander zu reissen und den Versuch zu wiederholen.

---

[1] Comptes rendus etc. 1862. t. LIV. p. 963; — Annales des Sciences naturelles. 4me Série. Zoologie. 1862. t. XVIII. p. 11.

[2] On the Attraction Force manifested by the Electricity of the Gymnotus electricus. In: The Transactions and the Proceedings of the London Electrical Society, from 1837 to 1840. London 1841. 4°. p. 179. — Matteucci hatte etwas früher einen ähnlichen Versuch am Zitterrochen beschrieben. Vom Rande einer Metallscheibe, auf welcher der Fisch liegt, trägt ein Draht das eine Goldblatt empor. Das andere hängt von einem ähnlichen Draht am Rande eines dem Rücken des Thieres aufgesetzten metallenen Deckels herab. Letzteren Deckel bewegt man um den Fisch zu reizen, dann soll man die Goldblätter sich anziehen sehen. (Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. 1837. t. XI. p. 392; — Essai sur les Phénomènes électriques des Animaux. 1840. p. 51. Fig. V.; — Traité etc. p. 154. pl. III. Fig. 27.) Es ist schwer zu begreifen, wie man über Anziehung der Goldblätter urtheilen solle, wenn man selber sie, und noch dazu an offener Luft, bewegt.

Hierher gehört die in der folgenden Abhandlung, §. III, besprochene unipolare Wirkung.

## §. VIII. Nähere Untersuchung über die Vertheilung der Spannungen am thätigen Organe des Zitterwelses. Die hintere Hälfte des Organes wirkt schwächer als die vordere. Vom Aequator des Organes.

Man pflegt an den elektrischen Organen von Polflächen zu reden. Dies ist jedoch irrig, sobald man nicht die Organe aus dem Thiere geschnitten, an die Luft gehoben, und dabei noch in allen ihren Punkten mit gleicher Kraft elektromotorisch sich denkt. Sobald die Organe unter Wasser sich befinden oder seitlich an thierische Theile von ähnlichen Leitungsverhältnissen grenzen, kann daran von Polflächen im strengeren Sinne die Rede nicht mehr sein. Schematisiren wir solches Organ als Cylinder, so schneiden jetzt nämlich auch Stromcurven den Mantel des Cylinders, anstatt nur aus seinen Grundflächen hervorzubrechen. Immerhin wird man noch von Polflächen des Organes mit der Genauigkeit sprechen dürfen, wie von denen eines Magnetes; und mit diesem Vorbehalte wollen auch wir dieser Ausdrucksweise uns bedienen. Näheres über die räumliche Vertheilung des Zitterfischschlages findet sich unten in der Abhandlung XXX.

Mittels eines Paares Platinelektroden, denen ein mit Guttapercha isolirter Telegraphendraht zur Handhabe diente (s. oben S. 613. 614), erkannte ich leicht, dass jeder dem Schwanze nähere Punkt des Organes sich positiv verhält gegen jeden dem Kopfe näheren, gleichviel wo der Punkt am Umfang eines bestimmten Querschnittes des Fisches liege, ob an Rücken, Seite oder Bauch. Der Fisch liess sich ohne zu schlagen eine Platinschiene leise von der Seite her unter den Bauch schieben, und schlug erst beim Aufsetzen der anderen Elektrode.

Aus diesen Versuchen folgt, dass die Polflächen des Organes am Kopf und am Schwanze liegen, und wegen der rohrförmigen Gestalt des Organes werden die Pole selber irgendwo im Körper des Fisches innerhalb der ringförmigen vorderen oder hinteren Begrenzung zu suchen sein. Weiter ergiebt sich, dass der Schlag mit dem Abstand der am Fische berührten Punkte, oder, wie wir es am Muskel oder Nerven nennen, mit der Spannweite des ableitenden Bogens wachsen müsse. Der Erfolg bestätigte diese Vermuthung. Einem grösseren Zitterwelse legte ich zwei Zinksättel erst in $1^{\text{cm}}$, dann in $2^{\text{cm}}$ Abstand ihrer inneren Ränder, dann so an, dass sie die Enden des Organes, endlich so, dass sie Maul und Schwanz berührten. Ich erhielt beziehlich 20; 50; 116; $140^{\text{sc}}$ Aus-

schlag. Beim letzten Versuche schlug der Fisch zweimal, und da ich noch ohne Froschunterbrecher arbeitete, bleibt zweifelhaft, ob die grössere Stärke der Wirkung allein vom zweifachen Schlag oder auch vom grösseren Spannungsunterschied der abgeleiteten Punkte herrührte.

Dies sind Umstände, welche am Zitterwelse schon von Ranzi (S. oben S. 720 Anm. 1), und mit vertauschten Zeichen von Faraday ganz ähnlich am Zitteraale beobachtet wurden. Während aber de la Rive ausdrücklich bemerkt, dass die vordere und die hintere Hälfte des Zitteraalorganes genau gleich stark schlagen,[1] fand sich, dass die vordere Hälfte des Zitterwelsorganes die hintere an Wirksamkeit übertrifft, und zwar, wie aus den sogleich anzuführenden Zahlen folgt, unter den gewöhnlichen Umständen sehr regelmässig im Verhältnisse von 11 : 6.

Als ich auf diesen Unterschied stiess, war mein erster Gedanke, dass er auf einem Unterschied des Baues, etwa verschiedener Plattenzahl in der Längeneinheit, beruhe. Allein ich überzeugte mich in Gemeinschaft mit Max Schultze, dass nichts der Art zu bemerken ist.[2] Dann erwog ich, ob nicht die geringere Stärke der hinteren Hälfte auf der Ausbreitung einer einzigen Nervenröhre im ganzen Organe beruhen möge, in Folge wovon die Innervationswelle im hinteren Theile des Organes geschwächt anlange.

Ehe indess an solche Theorie der Erscheinung gedacht werden dürfte, muss eine andere Frage entschieden werden. Wirkt die hintere Hälfte des Organes weniger stark elektromotorisch als die vordere, oder rührt die Schwäche ihrer Wirkung einfach von ihrem geringeren Querschnitt, also ihrem grösseren Widerstand, her? Nicht nur wird das Organ am Schwanz etwas dünner, sondern der Durchmesser des dadurch gebildeten Rohres nimmt ab. Auch nach dem Kopfe zu nimmt das Organ wohl etwas an Querschnitt ab, jedoch viel langsamer.

Die Frage, ob dies der Grund des beobachteten Verhaltens sei, schien durch den Versuch entschieden werden zu können. Ich verfertigte einen Ableitungsdeckel, der in der Mitte seiner Länge eine dritte Belegung trug, und bestimmte das Verhältniss des von beiden Hälften ausgehenden Schlages bei kleinem und bei grossem Widerstande des Versuchskreises. In letzterem Fall enthielt der Kreis ein $142^{\mathrm{mm}}$ langes, $1\cdot6^{\mathrm{mm}}$ weites, mit destillirtem Wasser, dem etwas Brunnenwasser bei-

---

[1] Archives de l'Électricité. 1845. t. V. p. 505; — Traité de l'Électricité théorique et appliquée etc. t. III. Paris 1858. p. 76.

[2] Vergl. M. Schultze in den Abhandlungen der naturforschenden Gesellschaft in Halle u. s. w. A. a. O. S. 16. 17.

gemengt war, gefülltes Rohr. Die Hydrorollen der Bussole (12000 Windungen) im Abstande Null wurden nöthig, um noch deutliche Ausschläge zu erzielen. Wie in allen folgenden Versuchen, wo es nicht anders gesagt ist, arbeitete der Froschunterbrecher mit 100$^{gr}$ Ueberlastung. Bei nur augenblicklicher Reizung entspräche dies nach Hrn. Helmholtz' Bestimmungen etwa 0·0168″[1]; allein ich habe schon früher die Gründe entwickelt, aus denen diese Bestimmungen hier nicht ohne Weiteres anwendbar sind.[2] Die Zahl der bei jedem Aufsetzen des Deckels vom Froschwecker angezeigten Schläge, welche in meinem Tagebuche stets verzeichnet ist, blieb in den folgenden Tabellen fort, da sie durch den Froschunterbrecher bedeutungslos gemacht wird.

| Widerstand | Hälfte des Organes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | Mittel | V : H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| klein | Vordere (V) | 25 | | 22 | | 19 | | | | | 22 | = 100 : 54·55 oder = 11 : 6 |
| | Hintere (H) | | 12 | | 14 | | 10 | | | | 12 | |
| gross | Vordere | | 5 | | 7 | | 8 | | 10 | | 7·5 | = 100 : 93·33 |
| | Hintere | 5 | | 8 | | 6 | | 7 | | 9 | 7·0 | |

Mit wachsendem Widerstand des Versuchskreises nähert sich also das Verhältniss zwischen den Wirkungen beider Hälften wirklich der Einheit. Dazu wäre kein Grund, wenn verschiedene elektromotorische Kraft die verschiedene Stärke des Schlages beider Hälften bedingte, und wir werden also schliessen dürfen, dass die geringere Wirksamkeit der hinteren Organhälfte auf grösserem Widerstande beruht.[3]

Nun wollte ich wissen, ob der Unterschied zwischen dem Querschnitt der vorderen und dem der hinteren Hälfte des Organes einen Unterschied im Widerstande von der Ordnung bewirkten könne, wie wir dessen bedürfen. Dazu dachte ich mir das Organ in der in

---

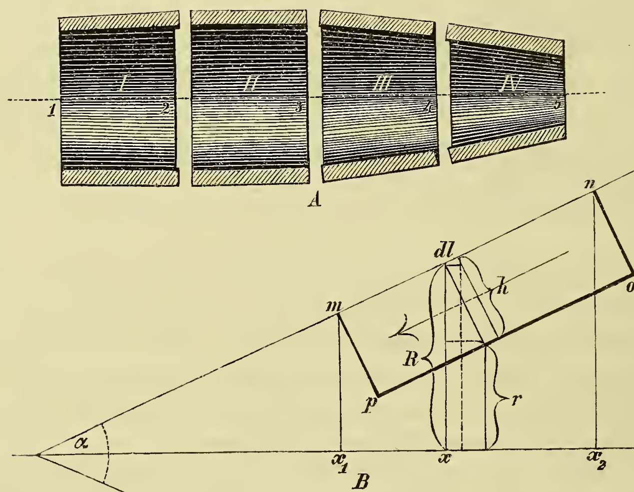
[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1850. S. 325.

[2] S. oben Bd. I. S. 226. 227.

[3] In dem akademischen Vortrage (Monatsberichte u. s. w. 1858. S. 93) drückte ich mich über diesen Punkt zweifelhaft aus, weil ich damals die im Texte beschriebenen Versuche noch nicht gehörig durchzuführen vermocht hatte. Auch in der Abhandlung „Ueber die räumliche Ausbreitung des Schlages der Zitterfische" (S. unten Abh. XXX. §. V) vom April 1864 neigte ich noch zur Annahme verschiedener elektromotorischer Kraft der beiden Hälften. Ich habe seitdem, bei genauer und allseitiger Erwägung des Thatbestandes, mich für die im Text auseinandergesetzte Theorie entschieden.

Fig. 43 A sichtbaren Art zusammengesetzt aus vier kegelförmigen Rohren von gleicher Axenlänge, und berechnete den Widerstand der Kegelrohre unter der Annahme, dass deren Wand, senkrecht auf den Mantel gemessen, überall gleich dick, und dass sie den sie zwischen sich schliessenden parallelen Kegelmänteln parallel durchströmt sei. Bilharz fand das 12″ lange Organ eines 22″ langen Zitterwelses an der Seitenlinie 8‴, am Rücken $2\frac{1}{2}$‴, am Bauche 2‴ dick.[1] Das Organ eines 275 mm langen Fisches fand ich 150 mm lang (150 : 275 = 12 : 22), und schrieb ihm eine der des von Bilharz gemessenen Organes proportionale mittlere Dicke $h$ von 5·3385 mm (: 150 = 5·1250 : 144) zu. Die Axenlänge jedes Kegelrohres war 37·5 mm; und der Umfang des Organes im Mittel zweier Messungen bei

Fig. 43.




| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 165·75 | 176·5 | 173·75 | 147·5 | 117·5 mm, |

woraus durch Division mit $2\pi$ die zugehörigen Halbmesser der äusseren Kegelgrundflächen zu

26·380 | 28·091 | 27·653 | 23·475 | 18·701 mm

sich ergaben. Fig. 43 A stellt diese Verhältnisse, wie auch die Dicke $h$, annähernd richtig vor.

Um den Widerstand eines der Kegelrohre zu finden, machen wir die Kegelaxe zur Abscissenaxe, verlegen den Ursprung an die Spitze des Kegels, und nennen den halben Winkel an der Spitze $\alpha$. S. Fig. 43 B,

---

[1] A. a. O. S. 29.

wo *mnop* die durchschnittene Wand des Kegelrohres vorstellt. Unsere Ordinate ist die, einen Punkt des äusseren Kegelmantels mit einem Punkt der Abscissenaxe verbindende Senkrechte $R$; $r$ ist die Ordinate des entsprechenden Punktes des inneren Mantels. Mit $\sigma$ bezeichnen wir den specifischen Widerstand des Organes. Endlich das Längenelement des Kegelrohres heisse $dl$. Man hat

$$dw = \frac{\sigma \,.\, dl}{2\pi h\left(\frac{R+r}{2}\right)},$$

$$dw = \frac{\sigma \,.\, dx}{\pi h(2x \sin\alpha - h\cos^2\alpha)},$$

$$w = \frac{\sigma}{\pi h}\int_{x_1}^{x_2}\frac{dx}{2x\sin\alpha - h\cos^2\alpha},$$

$$w = \frac{\sigma}{2\pi h \sin\alpha}\left\{\log(2x_2 \sin\alpha - h\cos^2\alpha) - \log(2x_1 \sin\alpha - h\cos^2\alpha)\right\}.$$

Die Bedeutung der Grenzen $x_1$ und $x_2$ erhellt aus der Figur. Daraus ergiebt sich der Widerstand

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| von | Abschnitt | | I | zu | $0 \cdot 24561\,\sigma$, |
| der | „ | „ | II | „ | $0 \cdot 23931\,\sigma$, |
| „ | „ | „ | III | „ | $0 \cdot 26332\,\sigma$, |
| „ | „ | „ | IV | „ | $0 \cdot 33893\,\sigma$. |

Ein durch die Kraft $E$ erzeugter Strom in der vorderen Hälfte wird also zu einem in der hinteren Hälfte durch dieselbe Kraft erzeugten Strome sich verhalten wie

$$\frac{E}{0 \cdot 48492\,\sigma} : \frac{E}{0 \cdot 60225\,\sigma} = 100 : 80 \cdot 52.$$

Dies Verhältniss ist kleiner als das beobachtete von 100 : 54·55. Da kein ausserwesentlicher Widerstand in Rechnung gebracht ist, müsste es vielmehr grösser sein. Der Unterschied kann nicht daher rühren, dass wir das stetig gekrümmte Organ durch Kegelrohre ersetzten. Doch haben wir erstens nicht die von Bilharz leider nicht näher bestimmte Dickenabnahme nach vorn und nach hinten berücksichtigt, die vielleicht nach hinten beträchtlicher ist. Zweitens wird die hintere Hälfte, wegen grösseren wesentlichen Widerstandes, mehr als die vordere durch Nebenschliessung geschwächt (s. oben S. 625); ja die ganze Betrachtung ist fehlerhaft, insofern das Organ in Wirklichkeit nicht so von seiner vorderen ringförmigen Grenzfläche zu seiner hinteren durchströmt wird, wie wir annahmen, sondern seine Seitenflächen von Stromcurven geschnitten werden (s. oben S. 629).

Die Erklärung der kleineren Stärke der hinteren Organhälfte durch grösseren Widerstand scheint mir deshalb mit dem Ausfall obiger Rechnung nicht unvereinbar.

Bilharz' Beobachtung der verschiedenen Dicke des Organes an der Seitenlinie und an Rücken und Bauch gäbe weitere Gelegenheit, den Einfluss des Widerstandes des Organes auf den Stromzweig im Versuchskreise zu prüfen. Mittels eines kleinen Elektrodenpaares von beständiger Spannweite erhielte man vermuthlich an der Seitenlinie stärkere Schläge als an Rücken oder Bauch. Dieser Versuch fiel mir zu spät ein.

Dagegen wies ich die Ueberlegenheit der vorderen Hälfte des Organes über die hintere noch auf eine andere, sehr lehrreiche Art nach. Ich befestigte zwei Zinksättel in solcher Entfernung von einander, dass sie an einem der Fische den Polen des Organes entsprachen, und machte dazwischen einen dritten Sattel so verschiebbar, dass er den Abstand zwischen den beiden ersten ($125^{mm}$) beliebig eintheilen konnte. Der mittlere Sattel wurde durch den Froschunterbrecher mit dem einen Ende *A*, die beiden anderen Sättel mit dem anderen Ende *B* der Bussole verbunden, deren Thermorollen (212 Windungen) im Abstande Null sich befanden. Bei dieser Anordnung sandte jeder der beiden Abschnitte des Organes einen Strom in umgekehrter Richtung durch die Bussole. Ich suchte nun dem mittleren Sattel solche Stellung zu ertheilen, dass die beiden Ströme gleich wurden, oder der Spiegel in Ruhe blieb. Das Ergebniss der Versuche zeigt folgende Tabelle, in welcher ein Ausschlag im Sinne der vorderen Hälfte positiv, der hinteren negativ bezeichnet ist.

| Längen-Verhältniss des vorderen Abschnittes zum hinteren: | Wirkung an der Bussole. |
|---|---|
| 62·5 : 62·5 . . . | Unmessbarer positiver Ausschlag. |
| 50 : 75 . . . . | $+ 42^{sc}$. |
| 45 : 80 . . . . | + 22; — 3; + 23. |
| 40 : 85 . . . . | Starker negativer Ausschlag. |

Das Verhältniss 45 : 80 schien somit dem gesuchten am nächsten. Um zu erfahren, wie vollkommen das gefundene Gleichgewicht sei, wurde die Wirkung des vorderen $45^{mm}$, und des hinteren $80^{mm}$ langen Abschnittes allein mit nur 53 Windungen gemessen. Erstere fand sich = + 48, oder mit 4 multiplicirt, = + 192; letztere = — 34, oder mit 4 multiplicirt, = $— 136^{sc}$. Das Gleichgewicht war, wenn man die Schwierigkeit des Versuches erwägt, gewiss so nahe wie möglich getroffen.

Dieser Versuch lehrt den Aequator des Organes, oder seinen neutralen Querschnitt bei Gegenwart des Ableitungsdeckels, jedoch unabhängig vom Bussolzweige kennen. Der Widerstand der von den Polen

zum Ende $B$ der Bussole führenden Leitungen war der nämliche, im Punkte $B$ herrschte also die mittlere Spannung zwischen den Spannungen an beiden Polen, d. h. die Spannung Null; folglich herrschte, wenn in der Bussole kein Strom gegenwärtig war, am Ende $A$ auch die Spannung Null, und hierin konnte nach dem Bosscha'schen Satze nichts sich ändern, wenn der keinen Strom führende Bussolzweig entfernt wurde (s. oben S. 83. 84. Anm.).

Ich ging noch einen Schritt weiter. Ich setzte dem Fisch an verschiedenen Punkten seiner Länge ein Sattelpaar von beständiger Spannweite (2 cm zwischen den einander zugekehrten Rändern der Schienen) auf. Ich erhielt im Mittel mehrerer Versuche

vom vorderen Drittel 26,
„ mittleren „ 29,
„ hinteren „ 13 sc

Ausschlag. Die Curve der Spannungen bezogen auf die Axe des Fisches als Abscissenaxe steigt also von vorn nach hinten bis zum Ende des mittleren Drittels fast geradlinig an, und wird dann convex gegen die Abscissenaxe. Auch hieraus ergiebt sich eine Verschiebung des Aequators nach vorn. Ob die etwas geringere Stärke des Ausschlages vom vorderen Drittel im Vergleiche zur Stärke des Ausschlages vom mittleren Drittel auf der Querschnittsabnahme des Organes nach vorn beruhte (s. oben S. 630. 633), oder zufällig war, kann ich nicht sagen.

Hier nun scheint ein Widerspruch obzuwalten. Setzen wir gleiche elektromotorische Thätigkeit aller Theile des Organes voraus, so müsste der Aequator die Länge des Organes hälften. Aus seiner Verschiebung nach vorn scheint zu folgen, dass neben dem unläugbar vorhandenen Unterschiede des Widerstandes auch ein solcher der Kraft zu Gunsten der vorderen Hälfte stattfinde. Dieser Schluss wäre voreilig. Er wäre nur richtig, wenn das Organ rings isolirt wäre. Dann müsste, auch bei verschiedenem Widerstande, bei gleicher elektromotorischer Wirksamkeit seiner Hälften der Aequator in der Mitte bleiben. Der grössere Widerstand der hinteren Hälfte bedingt aber, sobald Nebenschliessung vorhanden ist, stärkere Schwächung des davon abgeleiteten Stromzweiges. Daher, um in einen Versuchskreis von gleichem Widerstand einen so starken Strom von ihr wie von der vorderen Hälfte abzuleiten, die Enden des Versuchskreises eine längere Strecke umspannen müssen.

Es würde daraus folgen, dass die Lage des Aequators von den am Fisch angebrachten Nebenschliessungen abhinge. Ich versuchte zunächst, ob der Unterschied zwischen der Wirkung der oberen und der unteren Hälfte mit diesen Nebenschliessungen sich ändere. Ich verfertigte einen dem vorigen gleichen Deckel, nur dass zwischen den drei Belegungen die

Guttapercha bis auf drei schmale Streife, einen am Rücken und einen an jeder Seite, entfernt war. Nun musste das Verhältniss *V* : *H* ein grösseres werden, als mit dem vollen Deckel. Ich erhielt:

| Hälfte des Organes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Mittel | V : H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vordere | 36 | | | 31 | | 35 | | 33 | | 19 | 30·8 | = 100 : 54·55 oder 11 : 6 |
| Hintere | | 14 | 12 | | 14 | | 21 | | 12 | | 16·8 | |

Wie man sieht, schlug der Versuch fehl, indem das Verhältniss 11 : 6 mit wunderbarer Genauigkeit wiederkehrte. Natürlich war dabei Zufall im Spiel, denn von solcher Regelmässigkeit kann hier nicht die Rede sein. Leider kam ich nicht dazu, den Versuch zu wiederholen, und es bleibt also auch in dieser Hinsicht ein gewisses Dunkel zurück.

## §. IX. Vom Einflusse der Länge der Belegungen an den Ableitungsdeckeln auf die Stärke des Stromzweiges im Versuchskreise.

Hier schliesst sich eine Versuchsreihe an, welche bezweckt, die günstigsten Bedingungen für den Bau der Ableitungsdeckel festzustellen. Es handelt sich um die ihren Belegungen zu ertheilende Länge.[1] An dem Deckel in Fig. 42 haben die Belegungen eine ihnen auf's Gerathewohl ertheilte mittlere Länge. Die Länge der Belegungen beeinflusst aber doppelt die Stärke des Stromzweiges im Versuchskreis. Erstens wächst seine Stärke mit ihrer Oberfläche, sofern diese den Widerstand des Kreises verkleinert. Denkt man sich zweitens die nicht miteinander leitend verbundenen Belegungen der elektromotorischen Fläche des Organes angelegt, so ist klar, dass die Spannungen letzterer zum Theil durch die Belegungen sich abgleichen werden. Die Stärke des Stromes im Versuchskreise wird also der mittleren Spannung der von ihnen berührten Fläche gerade, und dem Widerstand des Versuchskreises umgekehrt proportional sein. Danach scheint es, als müssten bei grösserem Widerstande des Versuchskreises kürzere, bei geringerem Widerstande längere Belegungen vortheilhafter sein; und um unter verschiedenen Umständen möglichst starke Wirkung vom Fische zu erlangen, unternahm ich, diese Frage durch den Versuch zu entscheiden.

Von zwei für denselben Fisch passenden Deckeln versah ich den einen mit kurzen, den anderen mit langen Belegungen. Zwischen letzteren blieb in der Mitte eine Lücke von nur 8 $^{mm}$; die kurzen Belegungen

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 215.

waren ungefähr 2 $^{cm}$ breit. Mit diesen Deckeln gelang es leicht, die Richtigkeit obiger Schlussfolge zu beweisen.[1] Den grossen Widerstand lieferte diesmal ein 280 $^{mm}$ langes, 1·4 $^{mm}$ weites mit Zinksulphatlösung gefülltes Rohr, und es wurden dabei wieder die Hydrorollen der Bussole im Abstande Null nöthig (s. oben S. 634).

Kleiner Widerstand.

| Belegung | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| lang | | 74 | | 50 | 64 | | 41 | | 40 | | 40 | 51·5 |
| kurz | 20 | | 57 | | | 28 | | 37 | | 30 | | 34·4 |

Grosser Widerstand.

| Belegung | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| lang | | 54 | | 75 | | | | | | | | 64·5 |
| kurz | 73 | | 74 | | 100 | | | | | | | 82·3 |

Nahm man Schläge vom Fisch abwechselnd mit lang und kurz belegtem Deckel, so war die grössere Stärke der letzteren sehr deutlich.

## §. X. Genauere Prüfung der Leistungen des Froschunterbrechers in den Versuchen am Zitterwelse.

Ich komme hier nicht ausführlich auf die den zeitlichen Verlauf des Schlages betreffenden Fragen zurück, sondern verweise in dieser Beziehung auf das schon oben S. 617 bei Gelegenheit des Froschunterbrechers Gesagte.

In der 'Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen u. s. w.' wurde gezeigt, dass der Froschunterbrecher an sich mit ausreichender Pünktlichkeit das Geschäft versieht, eine beständige kleine Zeit nach der Reizung den Kreis zu öffnen. Um so mehr fielen die grossen Unregelmässigkeiten auf, welche in den Wirkungen des Zitterfischschlages noch stets bemerkbar wurden. Sie brachten mich endlich zum Entschluss, die Wirksamkeit des Unterbrechers auch noch in Versuchen an den Fischen selber zu prüfen, obschon undenkbar schien, dass er hier nicht die erwarteten Dienste leisten solle.

Zuerst stellte ich einfach Versuchsreihen mit steigender Ueberlastung an, um zu sehen, wie entsprechend dieser die Ausschläge durch den Fischschlag wachsen würden. So erhielt ich, (mit 53 Windungen in 75 $^{mm}$ Abstand), Reihen gleich folgenden, in welchen O. U. 'Ohne Unterbrecher' bedeutet.

---

[1] Auch diese Versuche sind erst nach dem Vortrag in der Akademie angestellt, wo ich nur die Vermuthung äussern durfte, dass die Sache so sich verhalte. (A. a. O. S. 104).

| Ueberlastung | 2 gr | O.U. | 2 | 50 | 100 | 150 | 200 | O.U. | 250 | 300 | 350 | 450 | 550 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 8·2 | 125 | 10·7 | 8·4 | 16·3 | 17·8 | 25·0 | 80 | — | — | — | — | — |
| II | — | — | — | 8 | 8·8 | 10·0 | 9·4 | — | 14 | 14·6 | 24·8 | 22·6 | 22 |

Das Sinken der Ausschläge am Schlusse der zweiten Reihe ist wohl dahin zu deuten, dass zur Zeit der Unterbrechung ein grosser Theil des Schlages vorüber war, daher die Ermüdung des Fisches leicht mehr ausmachte, als Verlängerung der Schliessungszeit durch höhere Ueberlastung.

Ich begann nun aber auch noch Versuchsreihen, in welchen ich mir vorsetzte, die durch den Froschunterbrecher in die Ergebnisse der Fischversuche eingeführte Regelmässigkeit unmittelbar zu beweisen. Ich wollte zeigen, dass der mittlere Fehler einer durch den Fisch gelieferten Reihe von Ausschlägen durch den Froschunterbrecher verkleinert werde. Dazu liess ich die vom Deckel ausgehenden Drähte in zwei Leitungen sich gabeln, deren eine zu einer wie gewöhnlich durch den Unterbrecher beschützten Bussole, die andere zu einer unbeschützten Bussole führte. Die beschützte Bussole schwächte, bis ihr Kreis geöffnet wurde, den Strom in der unbeschützten. Doch konnte dies auf das Ergebniss keinen anderen Einfluss haben, als die Ausschläge an der unbeschützten Bussole noch unregelmässiger zu machen. Ich stellte nur einen solchen Versuch an, der aber schlecht ausfiel, sofern unbegreiflicherweise die beschützte Bussole minder regelmässige Ausschläge gab als die unbeschützte. Bald darauf starb der letzte meiner Fische, und ich blieb über die Ursache jenes Misserfolges im Dunkeln.

## §. XI. Von der relativen Immunität der Zitterwelse gegen elektrische Schläge.

Schon in meinem 'Vorläufigen Abriss' vom Jahr 1842 stellte ich die Frage auf,[1] wie es komme, dass ein Zitterfisch andere Fische erschlägt, aber weder sich selber, noch, nach v. Humboldt's[2] und Colladon's[3] Erfahrungen, seinesgleichen; dass der Zitterroche, der lebendig gebiert, nicht die Jungen in seinem Uterus tödtet? Zu dieser Frage führte mich die Betrachtung, dass nach zweifellosen physikalischen Gesetzen der Schlag nothwendig auch durch den Körper des Fisches geht, ja dass dieser Körper für die Aufnahme des Schlages dem Organe sogar günstiger angelegt ist, als der eines anderen dem Zitterfisch genäherten Thieres.

Am Zitteraale könnte diese Behauptung, wegen seines weit vor der

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 29. 30. §. 75.

[2] Recueil d'Observations de Zoologie etc. p. 80.

[3] Comptes rendus etc. 1836. t. III. p. 490; — L'Institut etc. t. IV. No. 181. p. 350; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1836. Bd. XXXIX. S. 413.

vorderen Polfläche des Organes vorgeschobenen Kopfes, vielleicht bezweifelt werden. Am Zitterrochen ist sie sicher richtig, und sie wird schwerlich durch die Bemerkung entkräftet, dass die sich summirenden Schläge beider Organe das Centralnervensystem senkrecht auf seine Axe treffen. An keinem der drei Zitterfische aber springt die Wahrheit jenes Satzes so in die Augen, wie am Zitterwelse.

Dennoch unterliess ich nicht, sie auf die Probe des Versuches zu stellen, und zu beweisen, dass wirklich der Schlag durch den Körper des Fisches gehe. Dazu steckte ich einem dem Tode geweihten Zitterwelse, während ein Gehülfe ihn mit einem Gummihandschuh hielt, bis auf ihr blankes Ende isolirte Kupferdrähte durch Maul und After in den Leib. Nach Aussage eines ihm anliegenden stromprüfenden Froschschenkels schlug er merkwürdigerweise dabei nicht. Als er aber, mit den Drähten im Leib, in einen kleinen parallelepipedischen Glastrog voll Wasser gethan und seine Haut mit einem Glasstabe gereizt wurde, schlug er, und stets zeigte sich im Kreise der Drähte der Strom in angemessener Richtung und Stärke.

Die einzige denkbare Antwort auf die Frage, warum der Zitterfisch nicht selber sich tödte, war offenbar, dass er für elektrische Schläge unterempfindlich oder relativ immun sei; und ich hatte auch schon im Jahr 1852 mit Faraday Versuche am Zitteraal der *Polytechnic Institution* angestellt, um zu erfahren, ob der Fisch für fremde Ströme so unempfindlich sei, wie für die eigenen. Es gelang uns nicht, den Zitteraal merklich zu erregen; doch fand sich, dass unsere Vorrichtungen zu schwach waren, um in der grossen Wassermasse, in der das Thier sich befand, überhaupt, auch für einen Menschen, bemerkbare Wirkungen zu erzeugen.[1]

Jetzt war ich natürlich sehr begierig, am Zitterwelse die Antwort auf jene Frage zu erlangen, mit der ich mich seit funfzehn Jahren trug. Dazu versenkte ich in das Wasser der Versuchswanne ein Paar Zinnelektroden als Enden der Nebenrolle des Schlitteninductoriums, und ausserdem noch, zu einem gleich erhellenden Zweck, ein Paar Platinelektroden in Verbindung mit der halben Länge des Nervenmultiplicators. Im Hauptkreise des Inductoriums befanden sich zwei Grove. Wie ich erwartet hatte, erfuhr der Multiplicator von den Wechselströmen des Inductoriums keine Wirkung, da der davon in sein Gewinde gelangende Zweig zu schwach war, um doppelsinnige Ablenkung zu erzeugen.

That ich in die Wanne hiesige Flussfische, Schleie, Barsche (*Perca fluviatilis*), Giebel (*Carassius Gibelio*), Quappen (*Lota fluviatilis*), Hechte (*Esox Lucius*), Welse (*Silurus Glanis*), und setzte sie den Strömen aus, so

---

[1] Vergl. oben S. 613; — unten Abh. XXX. §. IV.

kippten sie bei halb aufgeschobener Rolle um, bewegten nicht mehr die Kiemen, und trieben unbesinnlich umher. Liess man diesen Zustand andauern, so starben die Fische, manche Arten leichter als andere. Frösche wurden furchtbar tetanisirt, erholten sich aber leicht.[1]

That ich nun statt der Fische, oder zu ihnen, einen Zitterwels in die Wanne, so verhielt er sich sehr verschieden. Von den Schlägen, welche zur tödtlichen Betäubung der anderen Fische hinreichten, schien er nichts zu spüren, und nahm sich neben jenen aus, wie neben Meerschweinchen und Hänfling ein Frosch in der Guericke'schen Leere. Kam ihm ein Fisch oder Frosch zu nah, so entlud auch er seine Batterien, wie die Multiplicatornadel anzeigte, die gegen die Hemmung geworfen, und deren Astasie verdorben wurde. Die einzige sichtbare Wirkung der Schläge auf den Zitterwels war, dass beim Oeffnen des Schlüssels seine Bartfäden sich zurücklegten, und es verdient bemerkt zu werden, dass die Bartfäden auch des gemeinen Welses beim Tetanisiren sich ähnlich bewegten. Wurde durch Aufschieben der Rolle den Schlägen die grösste Stärke ertheilt, so sah man indessen wohl, dass der Zitterwels sie merkte und mied. Kam er in die Nähe der Elektroden, wo die Stromdichte am grössten war, so zog er sich eilig zurück, schlug auch ein paarmal, und suchte mit richtigem Instinct, als kenne er die Gesetze der Stromvertheilung in nicht prismatischen Leitern, die Stellung auf, in der seine Längsaxe die am wenigsten dichten Stromcurven senkrecht schnitt. Allein mitten in den heftigsten Strömen regte er Kiemen und Flossen im gewohnten Takt, und er schwamm aus ihrem Bereich ohne irgend eine krampfhaft unwillkürliche Bewegung.

Ein sterbender Zitterwels befand sich in einem kleinen parallelepipedischen Glastroge, den er nahezu füllte (s. vorige Seite). Ihm wurden in Verbindung mit dem Schlitteninductorium Zinnelektroden, mit der halben Länge des Nervenmultiplicators Platinelektroden angelegt. Auch bei zwei Grove im Hauptkreise des Inductoriums und ganz aufgeschobener Rolle schien er von den Schlägen nichts zu merken, athmete ruhig weiter, und schlug nicht. Hier trat doppelsinnige Ablenkung ein.

Ebenso war im Wesentlichen der Erfolg mit dem Strom einer dreissiggliederigen Grove'schen Säule an Stelle der Wechselströme des Inductoriums. Die hiesigen Flussfische lagen während des Kettenschlusses auf der Seite und zuckten mit den Flossen. Beim Oeffnen erfolgte allgemeine Zuckung, kurz darauf aber, wenn nicht die Schliessung zu lange gedauert hatte, schwammen sie wieder umher. Das Tetanisiren

---

[1] Vergl. ähnliche Erfahrungen von R. Böttger in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1840. Bd. L. S. 39.

bekam ihnen sichtlich schlechter als der Strom von vergleichsweise beständiger Dichte. Der Zitterwels widerstand auch der Wirkung des beständigen Stromes, was von besonderem Interesse erscheint, da er darauf nicht eingerichtet zu sein brauchte. Doch suchte er auch hier jene theoretisch gebotene am meisten geschützte Lage auf.

Es ist also nun klar, warum der Zitterwels unter seinem eigenen Strome nicht leidet, und dasselbe wird natürlich auch für die anderen Zitterfische gelten. Der Zitterwels, die Zitterfische sind gegen elektrische Ströme immun,[1] wenn auch nur relativ; denn die blossgelegten Muskeln und Muskelnerven der Zitterfische, und die elektrischen Nerven selber, sind durch den Strom erregbar, und jene Immunität würde also bei einer in den obigen Versuchen noch nicht erreichten Stromdichte nothwendig eine Grenze haben. Mit einer Leydener Batterie von einer gewissen Grösse, die zu ausreichender Spannung geladen wäre, könnte man gewiss einen Zitterwels erschlagen.

Gleichviel wo diese Grenze liege, der Unterschied zwischen den Zitterfischen und anderen Thieren ist gross genug, um als eine der räthselhaftesten Thatsachen der Physiologie bezeichnet werden zu können. Nach alten Nachrichten sollen Krebse gegen den Schlag des Zitteraales immun sein.[2] Ich unterwarf deshalb hiesige Flusskrebse ähnlichen Versuchen, wie die Fische und den Frosch. Es ist richtig, dass sie viel vertragen, vielleicht weil ihr Chitinpanzer sie schützt. Beim Tetanisiren zucken sie aber auf das Heftigste, ihr Leib krümmt sich, ihre Fühlfäden legen sich zurück. Von Immunität nach Art der Zitterwelse kann bei ihnen die Rede nicht sein. Ich schweige von den bekannten, zum Theil

---

[1] In Hrn. Colladon's Abhandlung über den Zitterrochen liest man (p. 491): „M. J. Davy a constaté .... que le courant d'une pile ne paraît pas faire souffrir ceux de ces poissons qui sont interposés dans le circuit.“ Dies ist ein Missverständniss Colladon's. John Davy's Angabe über mangelnde Einwirkung des Stromes auf den Zitterrochen bezieht sich einzig und allein auf die elektrischen Organe und dient ihm nur zu dem Schlusse, dass die Organe keine Muskeln seien (Philosophical Transactions etc. 1832. p. 269; — Researches, physiological and anatomical. London 1839. vol. I. p. 32—34).

[2] Priestley, Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität u. s. w. Uebersetzt u. s. w. von Krünitz. Berlin und Stralsund 1772. 4°. S. 278. — G. H. Loskiel, Geschichte der Mission der evangelischen Brüder unter den Indianern in Nordamerika. Barby 1789. S. 124; — auch in Voigt's Magazin für das Neuste aus der Physik u. s. w. Gotha 1789. Bd. VI. St. II. S. 171. — Loskiel's Angabe erscheint um so fragwürdiger, als es in Nordamerika keine Zitteraale giebt. — Schon Alex. v. Humboldt brachte auf dem Lido durch die einfache Kette Zuckungen an Krabben hervor (Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser. Berlin und Posen 1797. Bd. I. S. 285).

sehr albernen Märchen von Immunität gewisser Menschen gegen elektrische Schläge.[1]

Es werden viele Beispiele von Immunität bestimmter Thiere gegen bestimmte Schädlichkeiten erzählt, welche den meisten anderen verderblich sind. Ich habe eine grosse Anzahl solcher Angaben gesammelt, es würde uns aber zu weit vom Ziel ablenken, darauf einzugehen, um so mehr als sie oft sehr unbestimmt und schlecht verbürgt sind. Teleologisch am nächsten liegt hier der Vergleich mit der von Fontana bewiesenen Immunität der Viper gegen ihr Gift. Obgleich schon Fontana zeigte, dass auch nicht giftige Schlangen, Eidechsen, Schildkröten, Aale, Schnecken und Blutegel ebenso immun gegen Viperngift sind, wie die Viper selber, erweckte oder nährte die Immunität der Viper das Vorurtheil, als seien Thiere grundsätzlich immun gegen das von ihnen selber bereitete Gift. Dies ist aber nicht immer der Fall. Schon Fontana bemerkte, dass Thiere mit scharfen und sauren Absonderungen, wie die Hymenopteren, nicht immun gegen ihr Gift sind.[2]

Und dies bringt uns an den Punkt, um den es eigentlich hier sich handelt. Alle jene Immunitäten beziehen sich auf specifisch wirkende Stoffe, denen deshalb auch eine specifische Organisation widerstehen kann. Dass Strychnin in so kleiner Menge die meisten Thiere tödtet, ist im Grunde merkwürdiger, als dass Huhn,[3] Nashornvogel, Faulthier[4] ihm mehr oder minder widerstehen. Die Immunität gegen eine Naturkraft wie Elektricität macht aber beim ersten Anblick beinahe den Eindruck, als wäre ein Thier fest gegen ein Aetzmittel oder ein metallisches Gift, gegen mechanische Gewalt oder zerstörende Hitze.

Doch ist dies täuschender Anschein. Der elektrische Strom steht zu Nerv und Muskel in ebenso besonderer Beziehung, wie nach unserer heutigen Anschauung gewisse organische Molecüle zu beschränkten Provinzen des Nervensystemes, und dass in dieser besonderen Beziehung bei gewissen Thieren Aenderungen eintreten, ist schliesslich nicht wunderbarer, als dass andere Thiere relativ fest gegen das allen übrigen furchtbare Strychninmolecül sind. Neben den Wirkungen, welche der Strom vermöge seiner besonderen Beziehung zu Nerv und Muskel in Thieren erzeugt, ist er noch anderer, allgemeiner Wirkungen fähig, welche, wenn über einen gewissen Grad gesteigert, dem Thiere gleichfalls verderblich werden: der thermischen, elektrolytischen, kata- und anapho-

---

[1] Vergl. Humboldt, Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser u. s. w. Bd. I. S. 160; — Recueil d'Observations de Zoologie etc. p. 69.

[2] Abhandlung über das Viperngift u. s. w. Berlin 1787. 4°. S. 15 ff. S. 155.

[3] Leube im Archiv für Anatomie u. s. w. 1867. S. 629.

[4] Ebenda, 1868. S. 756.

rischen Wirkung. Dass die Zitterfische nicht auch diesen Wirkungen entzogen sind, ist klar. Diese Betrachtung soll nicht dem Problem der Immunität der Zitterfische gegen den elektrischen Strom etwas von seiner Würde rauben. Im Gegentheil, sie spornt um so mehr zu seiner Lösung an, sofern sie die Aussicht eröffnet, dass sich dabei für die allgemeine Muskel- und Nervenphysik wichtige Aufschlüsse ergeben.

Hr. Pflüger, der Zeuge meiner Versuche war (s. oben S. 618), und der gerade damals mit dem Elektrotonus sich beschäftigte, äusserte die Vermuthung, dass der Zitterwels das Vermögen habe, seine Nerven in Anelektrotonus zu versetzen. Es ist aber ausser bei Einwirkung fremder Ströme sonst keine Spur der elektrotonischen Zustände im Nervensysteme bekannt. Auch scheint Hrn. Pflüger's Theorie schon durch folgenden Versuch widerlegt. Dem im Glastroge befindlichen sterbenden Zitterwelse (s. oben S. 640) war der eine elektrische Nerv unterbunden, und dieser konnte also nicht mehr von seiner Riesenganglienzelle aus anelektrotonisirt werden. Dennoch wurde er durch sehr starke Wechselströme nicht erregt.

Man könnte die Immunität der Zitterfische gegen den Strom mit der vielbesprochenen Unerregbarkeit des Rückenmarkes verknüpfen wollen. Dies wäre ganz willkürlich, denn derselbe elektrische Nerv, der im vorigen Versuch elektrisch unerregbar sich zeigte, löste im Augenblicke der Unterbindung einen heftigen Schlag aus; und so wirkte in einem anderen Versuch auch Durchschneidung. Das Rückenmark dagegen antwortet auf mechanische Reize so wenig wie auf elektrische.

Seit Hr. Brücke zeigte, dass entnervte Muskeln gegen kurz dauernde Ströme unterempfindlich sind,[1] ward es doppelt wichtig, dass der Zitterwels auch gegen den beständigen Strom einer Säule immun ist (s. oben S. 641). Seine Immunität ist also nicht, wie die der Muskeln, an den zeitlichen Verlauf des Stromes gebunden.

Mir scheint nichts übrig, als die Annahme, dass für die Nerven des Zitterfisches die Reizschwelle höher liege, als für die Nerven anderer Thiere. In diesem Sinn hätte ich selber die Untersuchung fortgeführt, wenn mir Gelegenheit dazu geworden wäre. Um so mehr freue ich mich, dass Hr. Boll neuerlich am Zitterrochen diesen Weg scheinbar mit gutem Erfolge betreten hat.[2]

---

[1] Sitzungsberichte der Wiener Akademie u. s. w. 1867. Bd. LVI. II. Abth. S. 594; — 1868. Bd. LVII. II. Abth. S. 125; — Vorlesungen über Physiologie. 2. Aufl. 1875. Bd. I. S. 485.

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 76. — Nach Hrn. Steiner läge beim Zitterrochen die Reizschwelle unter der Dichte, welche im Zitterrochen *A* der Schlag eines Zitterrochen *B* oder auch der von *A* selber erreichen kann. Ebenda 1875. S. 684.

## §. XII. Versuche am überlebenden elektrischen Nerven und Organe.

Die folgenden Versuche sind an einem sterbenden Zitterwels angestellt, an welchem vorher schon mehrere andere Prüfungen vorgenommen worden waren.

Als der elektrische Nerv auf die Platinbleche der stromzuführenden Vorrichtung[1] gelegt und tetanisirt wurde, erfolgte Tetanus eines stromprüfenden Schenkels, dessen Nerv irgendwo dem Organe derselben Seite anlag. Bei dauernder Erregung des elektrischen Nerven erzeugt also das Organ nicht, wie man hätte glauben können, einen stetigen Strom, sondern eine dichtgedrängte Reihe von Schlägen, gerade wie ein Muskel bei dauernder Erregung seines Nerven nur scheinbar stetige Zusammenziehung und Stromschwankung zeigt. Es ist ein Beweis der geringen Einsicht, mit welcher Matteucci seine zahllosen Versuche am Zitterrochen anstellte, dass er so grundlegende Fragen zu beantworten mir übrig liess.[2] Die Nadel des durch Platinelektroden mit dem Fische verbundenen Multiplicators wurde im Beginn des Tetanus abgelenkt, nahm aber keine feste Stellung an. Doch wäre es möglich, dass mit unpolarisirbaren Elektroden und an der Bussole mit aperiodischem leichten Spiegel der Erfolg ein anderer wäre. Die positive Polarisation des Organes durch seinen eigenen Strom[3] könnte dabei wohl in Betracht kommen. Nach wenig Minuten Ruhe liess der Tetanus sich abermals beobachten. Ueber die Entfernung der Nebenrolle, bei welcher er eintrat, finde ich in meinem Tagebuche nichts vermerkt.

Als der Strom zweier Grove durch den Nerven gesendet wurde, erfolgte nichts. Fünf Grove gaben einen Schliessungsschlag, der sich durch Zuckung des stromprüfenden Schenkels und am Multiplicator durch einen richtig gerichteten Ausschlag verrieth. Die grosse zur Erregung des Nerven nöthige Stromstärke fiel sehr auf; doch war der Nerv nicht mehr frisch, und es fehlte an der Möglichkeit, einen Vergleich anzu-

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 450. Taf. II. Fig. 20. 21.

[2] Vier Jahre nach mir gab auch Hr. Moreau an, dass Tetanisiren des elektrischen Nerven (am Zitterrochen) eine ununterbrochene Reihe von Entladungen erzeuge, ohne indess zu sagen, wie dies beobachtet wurde (Annales des Sciences naturelles etc. 4me Série. Zoologie. 1862. t. XVIII. p. 10). Mit Unrecht wurde diese Angabe von den Berichterstattern über seine Arbeit, den HH. Claude Bernard und Becquerel d. V., für neu angesehen (Comptes rendus etc. 1862. t. LIV. p. 966). — Vergl. auch Marey in den Comptes rendus etc. 1871. t. LXXIII. p. 918. — S. übrigens Boll, Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 79.

[3] S. unten §. XXXI. §. VI.

stellen. Es blieb also ungewiss, ob aus diesem Versuche schon auf abnorme Höhe der Reizschwelle für den elektrischen Nerven geschlossen werden durfte.

Die Rumpfmuskeln versagten jede Zuckung, auch bei ganz aufgeschobener Rolle und mit zwei Grove im Hauptkreise des Inductoriums; dagegen die Kopfmuskeln und der Darm sich zusammenzogen. Die Rumpfmuskeln antworteten aber auch nicht auf den Reiz gesättigter Kochsalzlösung.

Noch $2^3/_4$ Stunden nach Aufhören des Kreislaufes wirkte das Organ, vom Nerven aus gereizt, am Multiplicator: unmittelbar mechanisch oder mit Kalilauge gereizt wirkte es weder auf Multiplicator noch auf stromprüfenden Schenkel.

Der elektrische Nerv, mit Längs- und Querschnitt kunstgemäss auf die Bäusche des Nervenmultiplicators aufgelegt, versagte den Nervenstrom und beim Tetanisiren die negative Schwankung. Dies erscheint in der Ordnung, wenn man erwägt, dass der Nerv aus Einer Nervenröhre besteht, welche zwar ungewöhnlich dick, aber auch von einer unverhältnissmässig starken[1] Scheide umgeben ist, die durch Nebenschliessung die elektromotorische Wirkung der Nervenröhre vollends zum Verschwinden bringen muss. Doch wäre immerhin denkbar, dass ein mehr leistungsfähiger elektrischer Nerv vom Zitterwelse an der Bussole den Nervenstrom und seine negative Schwankung spurweise zeigte.

Elektrotonusströme wurden mit zwei Grove deutlich wahrgenommen; nach Durchschneiden des Nerven zwischen erregter und abgeleiteter Strecke, und Wiederzusammenkleben der Stümpfe, erschienen auf Stromschleifen beruhende schwache Wirkungen in falschem Sinne, zum Zeichen der Aechtheit der vorher wahrgenommenen Ausschläge.

Hier schliessen sich die Versuche über elektromotorische Thätigkeit des Organes in der Ruhe, und über dessen secundär-elektromotorische Wirkungen an. Ueber beide ist im §. VI der 'Experimentalkritik der Entladungshypothese', welche den Schluss dieser Sammlung bildet, ausführlich berichtet, und ich verweise auf jene Stelle.

---

[1] Bilharz, a. a. O. S. 21, giebt die Dicke der gefässhaltigen Scheide auf das neunfache der gefässlosen Scheide an. Der Durchmesser der Faser selber verhält sich zu dem der gefässlosen Scheide nach seinen Abbildungen a. a. O. Taf. III. Fig. 9. wie 2·6 : 24·6. Daraus ergiebt sich das Verhältniss des Querschnittes der Faser zu dem des ganzen Nerven wie 1 : 8950. Max Schultze bildet in Fig. 7. Taf. I. seiner Abhandlung das Verhältniss der Faser zur gefässlosen Scheide noch ungünstiger ab (wie 3·25 : 33·10).

## §. XIII. Von der chemischen Reaction des elektrischen Organes des Zitterwelses.[1]

Max Schultze hatte nach Beobachtungen in Triest angegeben, dass das elektrische Organ lebender Zitterrochen deutlich sauer reagire.[2] Ich prüfte das elektrische Organ des Zitterwelses wiederholt auf seine Reaction. Im frischen Zustande fand ich sie neutral nach Art der Muskelreaction, d. h. amphoter (s. oben S. 10 Anm.), und erst später, etwa vom dritten Tag an, deutlich sauer. Die rothen Flecke verschwanden nicht beim Trocknen. Am vierten Tage war (in einem Falle) das Organ in entschiedener Fäulniss begriffen, und reagirte alkalisch.

Am frischen Organ am ersten Tage prüfte ich auch die Wirkung höherer Temperatur auf die Reaction. Ein Aufenthalt von fünf Minuten in Wasser von 40—50° C., der beiläufig die Consistenz des Organes unverändert lässt, wandelt die neutrale Reaction in saure um. Doch musste, damit letztere hervortrete, das Organ länger als ebenso behandelte Froschmuskeln das Lakmuspapier berühren (s. oben S. 17). Ein wichtigerer Unterschied zwischen Organ und Muskel bestand darin, dass in siedendes Wasser geworfene Stücke Organ gleichfalls sauer wurden, anstatt wie Muskeln alkalischer zu werden (s. oben S. 18). Hierin also stimmt das elektrische Organ mit den nervösen Centralorganen überein, welche nach Hrn. Funke auch durch Siedhitze sauer werden.[3] Während aber Hr. Funke Hirn und Rückenmark durch Siedhitze noch saurer werden lässt, als durch eine Temperatur von 40—50°, schien mir die saure Reaction des gesottenen Organes minder ausgesprochen, als die des nur bis 40 oder 50° erhitzten: worin man einen Uebergang zum Verhalten der Muskeln sehen könnte.

Es war gewiss höchst unwahrscheinlich, dass im frischen Zustand das elektrische Organ des Zitterwelses amphichromatisch, das des Zitterrochen sauer reagire. Um Max Schultze's Angabe zu erklären, äusserte ich daher die Vermuthung, das elektrische Organ möchte, gleich

---

[1] Mit Benutzung meiner „Bemerkungen über die Reaction der elektrischen Organe und der Muskeln“ im Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 846. (Vergl. oben S. 601).

[2] Zur Kenntniss der elektrischen Organe der Fische. Zweite Abtheilung. Torpedo. Halle 1859. 4°. S. 27.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 841. — Vergl. Gscheidlen, Ueber die chemische Reaction der nervösen Centralorgane. Pflüger's Archiv u. s. w. 1874. Bd. VIII. S. 177.

dem Muskel, bei dauernder Anstrengung sich säuern. Man kann sich leicht denken, dass die Zitterrochen vom Augenblicke des Fanges an, bis sie in des Beobachters Hände gelangen, einer Menge von Kränkungen ausgesetzt sind, welche sie mit Schlägen beantworten, so dass sie selber ihr Organ in den Zustand der Muskeln bei meinen bis zur Erschöpfung tetanisirten Kaninchen und Fröschen versetzen (s. oben S. 26 ff.; — unten S. 716).

Diese Vermuthung hat sich nur zum Theil bestätigt. Hr. Moreau fand das Organ des Zitterrochen neutral,[1] Hr. Boll alkalisch reagirend, und in Betreff der Reaction des frischen ruhenden Organes hat also Max Schultze jedenfalls sich geirrt. Nach Verlauf von 6—10 Stunden sah Hr. Boll das Zitterrochenorgan sauer werden. Dagegen wird es nach ihm nicht, wie die Muskeln, durch Anstrengung sauer,[2] und es bleibt also dunkel, wodurch Max Schultze getäuscht wurde.

---

[1] Annales des Sciences naturelles etc. L. c. p. 6.
[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 99. 100.

XXIX.

# Ueber Jodkalium-Elektrolyse und Polarisation durch den Schlag des Zitterwelses.

(Gelesen in der Gesammtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 19. December 1861.)[1]

## §. I. Einleitung.

Einer der ersten Versuche, die ich mit den durch Hrn. Goodsir's Güte im August 1857 in meine Hände gelangten Zitterwelsen (s. oben S. 604. 605) anstellte, hatte zum Zweck, die am Multiplicator erkannte Richtung des Schlages mit Hülfe der Jodkalium-Elektrolyse zu bestätigen. Dabei gab sich ein beim ersten Anblicke sehr fremdartiger Umstand zu erkennen, der mich zu weiteren Untersuchungen veranlasste.

Die Vorrichtung, deren ich mich dazu, in Ermangelung des von Hrn. Riess für Jodkaliumversuche angegebenen Apparates[2] bediente, besteht, abgesehen von den Platinspitzen und den stromzuführenden Kupferdrähten, im Wesentlichen nur aus Glas und Kork, eine Art des Baues von Vorrichtungen, die meines Wissens von Hrn. v. Nörremberg herrührt. Eine viereckige Platte aus dickem Spiegelglase, die zugleich zur Aufnahme des mit der Lösung getränkten Fliesspapierstückes dient, trägt mittels eines angekitteten Korkes ein senkrechtes Glasrohr, woran sich mittels eines anderen Korkes ein in diesen ein- [1106] gekittetes wagerechtes Rohr auf- und abschieben und hin- und herdrehen lässt. In zwei wiederum an letzterem Rohr ebenso beweglichen kleineren Korken stecken starke Kupferdrähte, an welche einerseits die Platinspitzen, andererseits die Zuleitungsdrähte gelöthet sind. Letztere Löthungen liegen

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1861. S. 1105 (vergl. oben S. 601). — Die hier folgende Abhandlung enthält die weitere Ausführung einiger Umstände, die schon in dem am 28. Januar 1858 gehaltenen akademischen Vortrage (Monatsberichte u. s. w. 1858. S. 127) erwähnt wurden (vergl. oben S. 623).

[2] Repertorium der Physik u. s. w. Bd. VI. S. 306. Taf. II. Fig. 20.

im Inneren der Korke, um vor dem Abbrechen geschützt zu sein. Die Zuleitungsdrähte sind, damit keine Zerrung stattfinde, um knöcherne Knöpfe in dem an der senkrechten Röhre verschiebbaren Kork gewickelt. Sie sind verschieden gefärbt, und die zugehörigen Korke mit derselben Farbe bemalt. So kann man sehr bequem den beiden Platinspitzen auf dem Fliesspapiere verschiedene Abstände, Lagen und Neigungen geben, sie einzeln oder zusammen abheben, die Stromrichtung verfolgen u. s. w.

Die beste Art, die hier beschriebenen Erscheinungen wahrzunehmen, besteht darin, die Entstehung der Jodflecke von der Rückseite des Papieres aus, durch die Spiegelplatte hindurch, zu beobachten, wozu man letztere in passender Stellung in einen Halter einspannt. Das Papier war schwedisches Fliesspapier und die Jodkaliumlösung gesättigt. Es erwies sich als unnütz, die Empfindlichkeit der Vorrichtung durch Zusatz von Stärkekleister zur Jodkaliumlösung zu erhöhen. Zwischen je zwei Versuchen wurden die Platinspitzen in der Gasflamme ausgeglüht. Diese Spitzen sowohl, wie die zum Ableiten des Fischschlages angewendeten Metallsättel wurden häufig darauf untersucht, ob sie nicht schon durch ihre eigenen Ungleichartigkeiten einen Jodfleck erzeugten.

Der Fisch wurde zu den Versuchen stets in eine Wanne von der früher (s. oben S. 613) bezeichneten Art und Grösse gebracht, die nur soviel Wasser enthielt, dass dessen Spiegel den Rücken des Fisches tangirte. Zum Ableiten des Schlages dienten mir bei diesen Versuchen einfache Metallsättel, statt der Mumiensargdeckeln ähnlichen Vorrichtungen, welche ich anwende, wenn es sich darum handelt, möglichst starke Schläge zu erhalten. Hier kam es, wie die Folge lehren wird, vielmehr darauf an, mit dem den Schlag vom Fisch ableitenden Metall leicht wechseln zu können, was mit jenen Deckeln nicht so gut gegangen wäre [1107] (s. oben S. 614). Die Sättel waren nach dem Umrisse des Fisches an den Stellen, wo sie aufgesetzt werden sollten, nämlich den Enden des Organes, gebogene Streife starken Bleches, von 5 $^{cm}$ Länge und 1 $^{cm}$ Breite, denen in der Mitte ihrer Wölbung ein als Handhabe und zur Ableitung dienender mit Guttapercha isolirter Telegraphendraht angelöthet war. Auch die Löthstelle war sorgfältig mit Guttapercha und Bernsteinlack isolirt. Wo es nicht anders bemerkt ist, war das Metall der Sättel Platin.

Der paradoxe Umstand, der hier zu weiterer Untersuchung aufforderte, war folgender. Nach dem Ergebnisse des in meiner ersten Mittheilung erzählten Versuches (s. oben S. 620) erwartete ich den Jodfleck unter derjenigen Spitze erscheinen zu sehen, die mit dem Schwanze des Fisches in Verbindung stand. Dies traf nicht ein, sondern es fand sich unter beiden Spitzen ein Fleck, wenn gleich der Fleck unter der dem Schwanz ent-

sprechenden Spitze der stärkere war. Ich konnte mich nicht erinnern, bei irgend einem von denen, die bereits die Jodkalium-Elektrolyse durch den Schlag der elektrischen Fische versuchten, weder bei John Davy[1] oder Matteucci,[2] die am Zitterrochen, noch bei Faraday,[3] Schönbein[4] oder Miranda und Paci,[5] die am Zitteraale beobachteten, etwas Aehnliches gelesen zu haben. Nur an einer Stelle unter den vielen, wo Hr. Matteucci seine derartigen Versuche beschreibt, ent-
[1108] deckte ich eine unsichere Spur solchen Verhaltens.[6] Auch scheint Hr. Matteucci nicht weiter darauf geachtet zu haben, und er hat, so viel ich weiss, in späteren Bekanntmachungen dessen nicht wieder gedacht. Angesichts der Stärke und Regelmässigkeit, womit sich mir jetzt in jedem neuen Versuch ein Fleck auch unter der dem Kopf entsprechenden Spitze zeigte, schien beim ersten Anblicke das wichtige Ergebniss klar, dass, im Gegensatz zum Schlage jener Fische, der des Zitterwelses ein hin- und hergehender sei. Zwar zeigte auch bei diesen wiederholten Prüfungen die Nadel des gleichzeitig im Kreise befindlichen Multiplicators ganz bestimmt einen Ausschlag nur in einer Richtung, nämlich wie früher im Versuchskreise (s. oben S. 612) vom Schwanz zum Kopfe.

---

[1] Researches, physiological and anatomical. London 1839. vol. I. p. 15. 16. 22.

[2] Bibliothèque universelle de Genève. Nouvelle Série. 1837. t. XII. p. 172. 175; — Essai sur les Phénomènes électriques des Animaux. Paris 1840. p. 50. 51; — Traité des Phénomènes électro-physiologiques des Animaux. Paris 1844. p. 154; — Lezioni di Elettro-Fisiologia ec. Torino 1856. p. 8.

[3] Experimental Researches etc. Reprinted from the Philosophical Transactions etc. London 1844. vol. II. p. 6. Ser. XV. §. 1763.

[4] Archives de l'Électricité etc. 1841. t. I. p. 452; — Mittheilungen aus dem Reisetagebuche eines deutschen Naturforschers. England. Basel 1842. S. 317.

[5] Archives de l'Électricité etc. 1845. t. V. p. 500.

[6] In den „Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants“ (Paris 1847) heisst es p. 195. 196 wörtlich und vollständig: „Si l'on place la torpille sur un plan isolant, en disposant sur chacune de ses faces un disque de platine, qu'on y superpose deux morceaux de papier de même dimension, après les avoir imbibés d'une solution d'hydriodate de potasse, et qu'enfin on ferme le circuit en mettant en communication les disques par un fil de platine, on ne tarde pas à constater qu'après un certain nombre de décharges données par le poisson, il se forme une tache d'une couleur jaune rougeâtre autour de l'extrémité du fil de platine qui touche le morceau de papier placé sur le platine du côté du ventre. Celui qui est sur le disque de platine en contact avec le dos, se colore également, mais plus faiblement. La solution qui imprègne le papier est donc décomposée par le courant de la torpille, et l'iode se porte au pôle positif.“ Es bleibt natürlich ungewiss, ob letzterer Fleck ein secundärer oder der primäre durch die positive Platinplatte erzeugte war. Auffallend ist, dass Hr. Matteucci erst durch mehrere Entladungen eines frisch gefangenen und an die Luft gebrachten Zitterrochen einen gelbröthlichen Fleck erhielt. Ein einziger Zitterwelsschlag erzeugt einen grossen tiefschwarzen Fleck.

Allein es könnte sehr wohl sein, dass während im Verlaufe des Schlages die Curve der Stromstärken bezogen auf die Zeit ein- oder mehreremal die Abscissenaxe schnitte, sie beiderseits von dieser Axe ungleiche Flächenräume begrenzte, so dass ein Unterschied zu Gunsten der Ordinaten stattfände, welche die vom Schwanze durch den Versuchskreis zum Kopfe gerichteten Stromtheile vorstellen. Da solche Beschaffenheit des Schlages, wobei der Zitterwels seine Beute mit Wechselströmen tetanisirte, nach bekannten Grundsätzen gerade die geeig- [1109] netste wäre, um heftige physiologische Wirkung zu üben, so musste natürlich diese Vermuthung besondere Aufmerksamkeit erregen.

Indessen gab es noch eine andere Deutung der Erscheinung. Ich habe schon früher bemerklich gemacht, dass, wenn man sich der Jodkalium-Elektrolyse zur Bestimmung der Stromrichtung in Inductionskreisen bedient, leicht ein Fleck unter jeder Spitze beobachtet wird, auch wenn die sichersten Maassregeln getroffen sind, damit der Strom nur in einer Richtung sich bewege, und wenn von Funkenbildung nicht die Rede ist.[1] Der Fleck unter der negativen Spitze, den man den *secundären* nennen kann, erscheint nämlich, sobald nach Aufhören des Inductionsstromes der Kreis noch geschlossen bleibt, wie es gewöhnlich der Fall ist; und er rührt unstreitig her von dem entgegengesetzten Strome der Ladungen, welche die in Jodkaliumlösung tauchenden Platinspitzen unter dem Einflusse des Inductionsstromes angenommen haben. Dass der durch die Producte einer bestimmten Elektrolyse erzeugte secundäre Strom dieselbe Elektrolyse in entgegengesetzter Richtung bewirke, ist nicht ohne Beispiel. Hr. Poggendorff hat die besondere Tauglichkeit des platinirten Platins zu secundären Ketten darauf zurückgeführt, dass der Wasserstoff, den der secundäre Strom an der neuen Kathode entbinde, durch solches Platin oxydirt und auf diese Weise unschädlich gemacht werde;[2] und ich habe den Gründen für diese Annahme die Beobachtung hinzugefügt, dass Erschüttern der neuen Kathode zeitweise Hebung des secundären Stromes bewirke.[3]

Ganz ähnlich, wie in einem Inductionskreis, ist der Vorgang bei dem Fisch. Unmittelbar nachdem er geschlagen, bleibt der Kreis noch einige Augenblicke geschlossen, wie schnell man auch die Sättel aus dem Wasser ziehe, was man besonders rasch zu thun übrigens gewöhnlich keinen Grund hat. Während dieser Zeit muss ein secundärer Strom in umgekehrter Richtung des Fischstromes kreisen, welcher nicht [1110]

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 400.
[2] Annalen u. s. w. 1844. Bd. LXI. S. 594. 595.
[3] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 190.

allein von den Ladungen der in Jodkaliumlösung tauchenden Platinspitzen, sondern auch von denen der Platinsättel herrührt. Dieser secundäre Strom muss unstreitig auch unter der früheren Kathode, der neuen Anode, einen entsprechenden Jodfleck, den secundären, erzeugen. Man kann also das Auftreten des doppelten Fleckes bei dem Fischschlag auf diese Art erklären; um aber diese Möglichkeit in noch helleres Licht zu setzen, will ich zunächst die Bildung des secundären Fleckes überhaupt durch einige Versuche erläutern.

### §. II. Untersuchung des secundären Fleckes bei der Jodkalium-Elektrolyse in Kreisen, die nach Aufhören des zersetzenden Stromes geschlossen bleiben.

Bringt man den Jodkaliumapparat in den secundären Kreis einer hinlänglich kräftigen voltaëlektrischen Inductionsvorrichtung, z. B. meines Schlitteninductoriums bei ganz aufgeschobener Rolle, und lässt man nur einen Schliessungs- oder Oeffnungsschlag hindurchgehen, so erhält man erwähntermaassen, neben dem primären Fleck unter der positiven Spitze, auch einen secundären Fleck unter der negativen Spitze. Bei Beobachtung von der Rückseite sieht man beiläufig den primären Oeffnungsfleck rascher erscheinen, als den primären Schliessungsfleck, was die leichteste mir bekannte Art ist, sich von der grösseren Dauer des Schliessungsschlages bei gleicher darin sich abgleichender Elektricitätsmenge zu überzeugen. Den secundären Fleck sieht man, besonders deutlich bei dem Schliessungsschlage, stets erst nach dem primären und zwar gleichsam auf dessen Kosten entstehen. Der primäre Fleck schwindet in dem Maasse, wie der secundäre sich ausbildet, so dass beide sich der Gleichheit nähern, und es fast unmöglich wird, zu erkennen, wie der Strom gerichtet war.

Mit der schlecht umschriebenen schwachen Bräunung des Jodkaliumpapieres, die man erhält, wenn man den Strom in Funken vom Papiere zur negativen Spitze übergehen lässt, und die von Salpetersäure-[1] und Ozonbildung herrührt, ist die Erschei- [1111] nung des secundären Fleckes nicht zu verwechseln. Ohnehin würde diese Erklärung nicht auf den Schliessungsschlag passen, bei dem kein Funke zu Stande kommt. Man könnte aber gegen diese Versuche noch einwenden, dass, obschon ich mich dazu des Schlüssels bediente, die Schliessung und Oeffnung des

---

[1] Faraday, Experimental Researches etc. vol. I. London 1839. p. 90. 91. Ser. III. §. 322—326; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1833. Bd. XXIX. S. 294—296.

primären Kreises doch vielleicht nicht hinlänglich sicher ausgeführt worden sei, so dass ein Hin- und Hergehen des Stromes stattgefunden habe. Die folgende Anordnung des Versuches ist geeignet, auch diesen Zweifel zu zerstreuen, und giebt zugleich Gelegenheit, noch mehrere Eigenthümlichkeiten in der Erscheinungsweise des secundären Fleckes kennen zu lernen. Die Inductionsvorrichtung bei Seite lassend, nimmt man den Jodkaliumapparat in den Kreis einer viergliederigen Grove'schen Säule auf, zu der man das von mir beschriebene Rheochord[1] als Nebenschliessung anbringt. Zwischen Säule und Rheochord sind ein Stromwender und ein Schlüssel eingeschaltet. Bei offenem Schlüssel bleibt also der Jodkaliumapparat durch das Rheochord geschlossen, und etwa vorhandene Ladungen gleichen sich durch letzteres im Strom ab.

Mit dieser Vorrichtung, die keinen Verdacht mehr auf Wechsel der Stromrichtung zulässt, gelingen zunächst ganz dieselben Wahrnehmungen, wie mit der Inductionsvorrichtung. Schliesst man den Schlüssel und öffnet ihn sogleich wieder, so erscheint unmittelbar nach dem primären ein secundärer Fleck, der in dem Maasse wächst, wie jener abnimmt, und so dem primären an Stärke sich nähert.

Hält man dagegen die Säule länger geschlossen, so bleibt der secundäre Fleck aus, und zwar bei um so geringerer Dauer des Schlusses, je stärker der Strom. Setzt man aber jetzt die negative Spitze an einer neuen Stelle auf, oder wischt man sie ab und bringt sie an den früheren Ort, während die positive unberührt und unverrückt bleibt, so erscheint der secundäre Fleck.

[1112] Dass die Bildung des secundären Fleckes einen Polarisationsstrom begleitet, ist jetzt leicht zu zeigen. Bringt man in den Umgang, der die Jodkaliumvorrichtung enthält, einen Multiplicator, zu diesem aber eine so gute Nebenschliessung an, dass der Säulenstromzweig die Nadel nicht abzulenken vermag, und öffnet man die Nebenschliessung einen Augenblick später als die Säule, so schlägt die Nadel in der dem Säulenstromzweig entgegengesetzten Richtung aus. Die Erzeugung dieses Stromes durch das an der Anode ausgeschiedene Jod kann man nachahmen, indem man auf das Jodkaliumpapier ein Stückchen Jod legt, und in den dadurch entstandenen Fleck die eine der beiden vorher auf ihre Gleichartigkeit geprüften Spitzen stellt. Es entsteht ein Strom, welcher die vom Jod berührte Spitze als negativ anzeigt, und von der Bildung eines secundären Fleckes an der anderen Spitze begleitet ist. Taucht man die eine Spitze in eine concentrirte Kalilösung, und setzt dann beide Spitzen auf das Jodkaliumpapier, so entsteht zwar auch ein Strom, welcher die mit

[1] S. oben Bd. I. S. 187 ff.

Kali benetzte Spitze als positiv anzeigt, allein dieser Strom ist sehr viel schwächer, da er am Nervenmultiplicator nur eben wahrnehmbar ist, während der durch das Jod bewirkte die Nadel des Muskelmultiplicators auf 70—80° beständiger Ablenkung hält. Danach würde das Jod an der Anode mit dem Wasserstoff an der Kathode die Hauptrolle bei der Erzeugung des secundären Stromes spielen.

Dass der secundäre Fleck ausbleibt, wenn die Kette längere Zeit geschlossen war, aber sofort erscheint, wenn die negative Spitze abgewischt oder anderswo aufgesetzt wird, ist wohl so zu erklären, dass dann das an der früher negativen, jetzt positiven Spitze freiwerdende Jod das dort ausgeschiedene Kali zerlegt, und dass so wieder Jodkalium und Wasser entsteht. Auf dem Ausscheiden von Kalium an der früher positiven, jetzt negativen Spitze beruht umgekehrt das mit der Entwickelung des secundären Fleckes gleichen Schritt haltende Schwinden des primären. So verschwindet auch ein secundärer Fleck in kurzer Zeit unter dem Einflusse des wieder geschlossenen Stromes, der Kalium an der Kathode frei macht,[1] und [1113] durch Umkehren des Stromes kann sogar ein sehr starker primärer Fleck zum Verschwinden gebracht werden.

Dies Alles scheint beim ersten Anblick klar, dunkel aber jetzt eigentlich bei näherer Ueberlegung das ursprüngliche Phänomen selber, die Bildung nämlich des secundären Fleckes nach kurzem Säulenschlusse. Denn man sollte meinen, es müsse auch hier das Jod an der früheren Kathode die entsprechende Menge Kali finden, um es zu verhindern, frei zu werden, und man kann sich nicht darauf berufen, dass das Jod am Platin ausgeschieden werde, während das Kali schon durch Diffusion in weiterem Umfange sich zerstreut habe, weil diese Betrachtung ebenso gut auf längere Schliessung passt.

Ich versuchte, den secundären Fleck auch so zu beobachten, dass ich bei geschlossener Säule die Platinspitzen vom Papier abhob, die Säule öffnete, und die Spitzen an einer anderen Stelle wieder aufsetzte. Dies gelang; doch zeigte sich dabei noch eine unerwartete Erscheinung. Wenn nämlich der Schluss einige Zeit gedauert hatte, fuhr die positive Spitze fort, sehr stark Jod zu entwickeln, indem gleichwohl der secundäre Fleck entstand. Diese Nachwirkung der positiven Spitze erkennt man aber leicht als eine örtliche daran, dass sie unabhängig von jedem Strom auch dann vor sich geht, wenn man die positive Spitze abtrennbar macht, und sie mit einer isolirenden Pincette auf das Jodkaliumpapier setzt. Die örtliche Wirkung ist rasch vorübergehend. In meinen Versuchen

---

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 400.

war sie nach 25″ verschwunden. Abwischen der Spitze macht ihr sofort ein Ende.

Durch anhaftendes Jod, welches sich etwa in der Jodkaliumlösung auflöste, ist diese Wirkung nicht zu erklären. Eine Platinspitze, welche nicht als Anode gedient hat, in der Mitte des Fleckes und dann anderswo aufgesetzt, bringt keinen ähnlichen Fleck hervor, und die Wirksamkeit der Anode nimmt mit Dauer und Stärke des Stromes zu, da doch die anhaftende Jodmenge sehr bald eine nicht zu überschreitende Grenze erreichen muss. Nach Hrn. Faraday soll zwar bei der Jodkalium-Elektrolyse nur Jod an der Anode, Kalium (secundär Kali und Wasserstoff) an der [1114] Kathode erscheinen.[1] Ich sehe aber zur Erklärung der örtlichen Wirksamkeit der Anode keinen Ausweg als sich zu denken, dass die Anode, ausser mit Jod, noch mit Ozon sich bekleide. Dass eine Platinspitze, welche als Anode destillirtes Wasser zersetzt hat, einen Fleck auf Jodkaliumpapier erzeugt, davon habe ich mich zum Ueberfluss mit Hrn. Dr. G. Quincke an einer sechziggliederigen Grove'schen Säule überzeugt. Ein sehr geringes Maass örtlicher Wirksamkeit erhielt die Spitze auch, als durch sie eine Leydener Batterie von drei Quadratfuss Belegung, die mit sechzig $^1/_2'''$ langen Funken an der Maassflasche geladen worden war, mittels einer dem Knopfe der inneren Belegung genäherten Nähnadel entladen wurde. Dagegen der Strom zwischen positivem und negativem Conductor einer kräftigen Elektrisirmaschine, und die Oeffnungsschläge eines Ruhmkorff'schen Inductoriums die Spitze nicht hinreichend ozonisirten. Diese Art der örtlichen Wirksamkeit stimmt mit der zu erklärenden darin überein, dass auch sie sehr flüchtig ist. Nach einer Minute ist nur noch eine Spur davon übrig. Abwischen hebt sie sofort auf.

Ich kam nun auf den Gedanken, dass vielleicht der secundäre Fleck überhaupt nur auf secundärer Elektrolyse beruhe, dass nämlich das an der neuen Anode durch den Polarisationsstrom entbundene Ozon ihn erzeuge. Um diese Ansicht zu prüfen, wiederholte ich die vorigen Versuche auf einer über dem Wasserbade zur Siedhitze erwärmten Glasplatte, wo kein Ozon entstehen kann. Wirklich blieb jetzt der secundäre Fleck aus, obschon in der Stärke des Polarisationsstromes kein deutlicher Unterschied nachzuweisen war. Das Ausbleiben des Fleckes rührte also weder von dem Austrocknen des Jodkaliumpapieres in der Hitze, noch davon her, dass mit steigender Temperatur die elektromotorische Kraft der La-

[1] Experimental Researches etc. vol. I. p. 227. Ser. VII. §. 760; — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1834. Bd. XXXIII. S. 446. — Vgl. Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus u. s. w. 2. Aufl. Braunschweig 1872. S. 500. §. 337.

dungen sinkt. Ebenso vermisste ich in der Hitze die örtliche Nachwirkung der Anode, was zu bestätigen scheint, dass sie von Ozon herrührt. [1115] Der primäre Fleck erschien dagegen für die gewöhnliche Wahrnehmung unverändert.

Weiter bin ich in der Erforschung des secundären Fleckes in dieser Richtung nicht fortgeschritten, da ich, wie die Folge lehren wird, genug für meinen Zweck davon erfahren hatte. Bei der geschilderten Sachlage halte ich es noch nicht für thunlich, eine überall einleuchtende Erklärung davon zu geben, weshalb der secundäre Fleck nur nach kurzem Säulenschluss ohne Weiteres, nach längerem erst dann entsteht, wenn die Kathode abgewischt oder anderswo aufgesetzt wird. Der Wasserstoff an der ursprünglichen Kathode mag dabei eine Rolle spielen, wie auch das Ozon an der ursprünglichen Anode sich jetzt an der Bildung des primären Fleckes betheiligen zu müssen scheint. Doch möchte ich mich nicht anders als an der Hand des Versuches in das Labyrinth der hier noch offenen Möglichkeiten einlassen.

Um die Bedingungen, unter denen die Jodkalium-Elektrolyse durch den Schlag des Fisches vor sich geht, vollständig nachzuahmen, müssen wir in den Kreis ausser den zur Zersetzung dienenden Platinspitzen noch ein zweites Elektrodenpaar bringen, welches die metallischen Sättel vorstellt, durch die der Schlag vom Fisch abgeleitet wird. Der Einfluss solchen Elektrodenpaares, wenn es aus einem vergleichsweise nur wenig polarisirbaren Metall, aus Zink z. B., besteht, beschränkt sich auf den des vergrösserten Widerstandes. Mit dem Schlitteninductorium wird der secundäre Fleck fast unwahrnehmbar. Wählt man aber das Elektrodenpaar aus Platin in Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure, so hat es bei nicht zu grosser benetzter Platinoberfläche die sonderbare Wirkung, den secundären Fleck bei kurzer Dauer des primären Stromes, also bei Anwendung der Inductionsschläge oder bei nur augenblicklichem Säulenschlusse, stärker als den primären werden zu lassen. Unter diesen Umständen wird somit die Jodkaliumzersetzung, wenn man die Beobachtung im ersten Augenblicke versäumt, zu einem völlig trügerischen Kennzeichen der Stromrichtung. Bei längerem Schlusse zeigt sich der die Entwickelung des secundären Fleckes befördernde Einfluss des Elektrodenpaares darin, dass noch ein secundärer Fleck da erscheint, wo sonst keiner entstanden wäre.

Die Wirkung des Elektrodenpaares beruht natürlich darauf, dass dessen secundärer Strom zu dem der Jodkaliumvorrichtung [1116] sich hinzufügt. Das Ueberwiegen des secundären Fleckes bei kurzem Schlusse muss man sich so erklären, dass der von dem Elektrodenpaar ausgehende Polarisationsstrom den von der Jodkaliumvorrichtung aus-

gehenden überdauert, welcher sein Ende erreicht, wenn der sich entwickelnde secundäre und der schwindende primäre Fleck nahe gleiche Grösse erlangt haben. In der Siedhitze fehlt auch hier der secundäre Fleck, was abermals zeigt, dass dies Ausbleiben nicht von der Verminderung der elektromotorischen Kraft der Ladungen bei steigender Temperatur herrührt, da natürlich die secundär-elektromotorische Wirkung des Elektrodenpaares unter der Siedhitze, der die Jodkaliumvorrichtung ausgesetzt wird, nicht leiden kann.

Bei diesen Versuchen kommt beiläufig viel auf den Zustand des Platin-Elektrodenpaares an. Hatte ich die Elektroden kurz vorher ausgeglüht, so erschien unabhängig von der Richtung des Stromes der secundäre Fleck stärker als der primäre. Meist aber stellte sich bald eine Störung der Art ein, dass dieser Erfolg nur bei der einen Stromrichtung beobachtet wurde. Dabei verhielten sich die Elektroden an der Tangentenbussole mit 12000 Windungen und Spiegelablesung, deren Empfindlichkeit sich der des Nervenmultiplicators nähert,[1] so gut wie gleichartig. Die Erscheinung ist also, wie es scheint, nicht einfach so zu erklären, als summire sich eine den Platinelektroden ursprünglich angehörige elektromotorische Kraft algebraisch zu der des Polarisationsstromes, sondern so, als sei diese letztere je nach ihrer Richtung zwischen den Elektroden an Grösse verschieden, wofür es an Beispielen nicht fehlt.

Zuletzt blieb übrig, zu untersuchen, wie der secundäre Fleck sich verhält, wenn man, statt zweier Platinspitzen, eine Spitze und eine Platte nimmt. Wurde die Platte zur Anode, die Spitze zur Kathode gemacht, so war der secundäre Fleck nach kurzem Schlusse kaum merklich, nach langem Schlusse, wenn die negative Spitze abgewischt wurde, verhältnissmässig [1117] auch schwach, vermuthlich weil mit wachsender Grösse der Anode die secundär-elektromotorische Kraft, deren Sitz sie ist (s. oben S. 654), schneller abnahm, als der Widerstand des Kreises. Mit in Wasser tauchenden Platinelektroden im Kreise zeigte sich, wie zu erwarten, nach kurzem Schluss auch hier der secundäre Fleck ganz deutlich an der Spitze. War dagegen die Spitze positiv und die Platte negativ, so erschien auch mit den Elektroden im Kreise kein secundärer Fleck an der Platte.

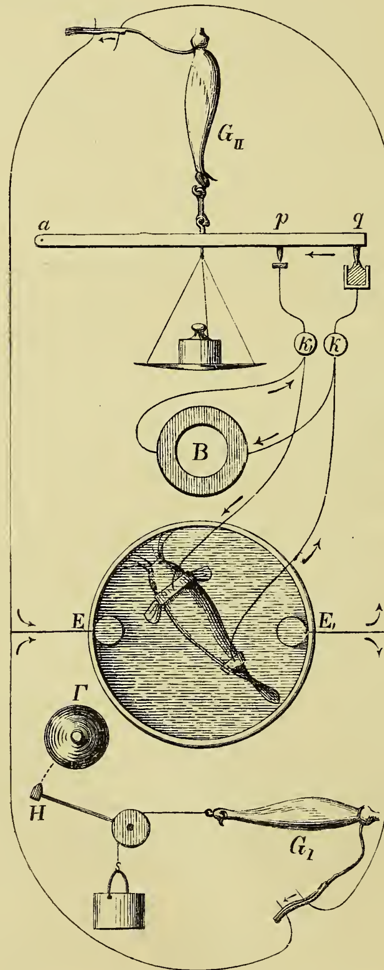
## §. III. Nachweis der Polarisation der Elektroden durch den Schlag des Zitterwelses.

Um die vorigen Erfahrungen mit aller Sicherheit auf den Schlag des Zitterwelses anwenden zu können, wird es zweckmässig sein, uns erst

[1] S. oben Bd. I. S. 153.

noch zu überzeugen, dass durch diesen Schlag wirklich Elektroden polarisirt werden. Da Polarisation auch nach dem so flüchtigen Schlage der Leydener Flasche nachgewiesen ist, so kann zwar kein Zweifel sein, dass auch der Zitterfischschlag Elektroden polarisire. Allein beobachtet ist diese

Fig. 44.




Polarisation noch von Niemand, und nur Hr. Schönbein hat meines Wissens daran gedacht, den Versuch anzustellen, ohne jedoch selber Gelegenheit dazu zu haben. Als Ersatz für die Wasserzersetzung durch den Fischstrom, die nur schwer gelingen dürfte (s. oben S. 629), empfiehlt er die

Polarisation der Elektroden zu beobachten, welche nach seinen Untersuchungen als untrügliches Kennzeichen voraufgegangener Wasserzersetzung anzusehen sei. Man solle die beiden, natürlich unter sich metallisch verbundenen Sättel, nachdem sie mit dem schlagenden Fisch in Berührung gewesen, in angesäuertes Wasser tauchen, und werde alsdann einen Strom in entgegengesetztem Sinne des Fischstromes von ihnen ausgehen sehen.[1] Dabei ist die Schwierigkeit zu überwinden, dass man in den die Sättel verbindenden metallischen Leiter (den Versuchskreis) den Multiplicator schnell muss einschalten können. Statt dessen zog ich vor, den Multiplicator schon [1118] im Kreise zu haben, jedoch vor dem Schlage des Zitterfisches geschützt durch eine Nebenschliessung, welche man, um die Polarisation sichtbar zu machen, nur sobald wie möglich nach abgelaufenem Schlag hinwegzuräumen braucht. Man könnte dies zur Noth so thun, dass ein Gehülfe, unmittelbar nach [1119] Aufsetzen der Sättel und dem durch den Froschwecker gegebenen Signale, die Nebenschliessung entfernte; zweckmässiger ist folgende Versuchsweise.

In beistehender Figur erkennt man leicht die Versuchswanne, darin den Fisch mit den ihm angelegten Platinsätteln. $E$, $E'$ sind am Boden der Wanne liegende Zinnelektroden. Die davon ausgehenden Drähte gabeln sich bald jeder in zwei Zweige. Von diesen beiden Zweigen führt der eine zum Ischiadnerven eines Gastroknemius $G_1$, der so aufgestellt ist, dass bei seiner Zusammenziehung der Hammer $H$ die Glocke $\Gamma$ trifft. Dies ist der schon früher von mir beschriebene Froschwecker,[2] der bei allen Fischversuchen zu dem Zweck aufgestellt wird, Nachricht von jeder Entladung zu geben, so dass man mit Sicherheit weiss, dass der Fisch schlug, auch wenn eine sonst erwartete Wirkung des Schlages, dem man vielleicht Unmögliches zumuthete, ausblieb.

Der andere der erwähnten Zweige führt zum Ichiadnerven eines zweiten Gastroknemius $G_{11}$, der in dem gleichfalls schon früher von mir beschriebenen Froschunterbrecher für den Fischstrom[3] so angebracht ist, dass er bei seiner Zusammenziehung den Hebel $apq$ um den Drehpunkt $a$ hebt, und so den Stift $p$ von der ihm zum Stützpunkt dienenden Platinplatte (der Stützplatte) löst. Man ersieht aus der Figur, wie dadurch eine Nebenschliessung entfernt wird, welche den von den Platinsätteln ausgehenden Fischschlag verhindert, sich im Versuchskreise bis zur Bussole $B$ auszubreiten. $k$, $k_1$ sind die festen Drahtklemmen am Tischchen des Froschunterbrechers. Durch das Zerreissen eines Quecksilberfadens in $q$

[1] A. a. O. S. oben S. 571, Anm. 4.
[2] S. oben Bd. I. S. 213; — oben S. 616.
[3] S. oben Bd. I. S. 215; — oben S. 617.

wird der erneuten Schliessung des Kreises beim Nachlassen des Muskels vorgebeugt. Ich setze endlich als aus der angeführten Abhandlung bekannt voraus, wie es möglich sei, durch wachsende Ueberlastung des Muskels (im Helmholtz'schen Sinne) die Zeit bis zu einer gewissen Grenze zu verlängern, welche von dem mit dem Beginn des Fischschlages hinlänglich nahe zusammenfallenden Augenblicke der Reizung [1120] bis zu dem Augenblicke verstreicht, wo der Stift von der Platte gelöst wird.

Mit Hülfe dieser Anordnung gelingt es leicht, die Polarisation der Elektroden durch den Fischschlag nachzuweisen. Zu Anfang jeder Versuchsreihe zwar wird dies oft dadurch vereitelt, dass der Fisch, nachdem er schon durch einen ersten Schlag die Nebenschliessung geöffnet, wiederholt schlägt, wie der Froschwecker anzeigt. Da diese Schläge dann durch die unbeschützte Bussole gehen, kann die Ablenkung durch den Polarisationsstrom nicht sichtbar werden, sondern der Spiegel wird im Sinne des ursprünglichen Fischstromes, einen Strom vom Schwanz zum Kopf im Versuchskreis anzeigend, abgelenkt. Wenn aber der Fisch zu ermüden anfängt, schlägt er bei jedem Aufsetzen der Sättel gewöhnlich nur noch einmal (s. oben S. 618). Ist dabei der Muskel nur belastet, oder nur unter einem gewissen Betrag überlastet, so erfolgt auch jetzt noch der Ausschlag im Sinne des Fischstromes. Uebersteigt dagegen die Ueberlastung eine gewisse Grenze, so hat der Ausschlag die entgegengesetzte Richtung. Dazwischen liegt ein Punkt, wo man entweder nur einen sehr kleinen Ausschlag in der einen oder der anderen Richtung erhält, oder wo die Wirkung doppelsinnig wird, d. h. man sieht zuerst den Spiegel nach der Richtung des ursprünglichen Fischstromes hinzucken, sogleich aber umkehren, und im Sinne der Ladungen abgelenkt werden. Dieser letztere Erfolg setzt jedoch voraus, dass der Spiegel sehr leicht beweglich sei.

Die Erklärung dieser Erscheinungen liegt so auf der Hand, dass ich nicht näher darauf eingehen will. Der Beweis, dass die entgegengesetzten Ausschläge wirklich von der Polarisation herrühren, ergiebt sich daraus, dass sie nie beobachtet werden, wenn man die Sättel aus Zink, statt aus Platin, nimmt. Wechselt man bei grossen Ueberlastungen am ermüdeten Fische mit Platin- und mit Zinksätteln ab, so hat stets mit letzteren der Ausschlag die Richtung vom Schwanz zum Kopf, mit ersteren die entgegengesetzte.

Von der Ueberlastung, welche nöthig ist, um bei Platinelektroden das Umschlagen der Stromrichtung herbeizuführen, lässt sich nichts Allgemeingültiges aussagen. Zunächst ist nach [1121] dem früher Dargelegten klar, dass sie mit Grösse und Leistungsfähigkeit des Froschpräparates abnehmen müsse (s. oben S. 617). Schützt man z. B. den Nerven nicht

vor Trockniss, so beobachtet man, ohne die Ueberlastung zu steigern, dieselbe Reihenfolge von Erscheinungen, die man bei feucht gehaltenem Nerven mit wachsender Ueberlastung eintreten sieht. Allein auch von der Leistungsfähigkeit des Fisches scheint jenes Maass der Ueberlastung abzuhängen. Als ich diese Versuche im Spätherbst 1857 an den ersten in meine Hände gelangten Zitterwelsen, welche damals schon zu kränkeln anfingen, anstellte, reichte eine Ueberlastung von 50—100 $^{grm}$ aus, um den ursprünglichen Strom abzublenden. Als ich aber dieselben Versuche neuerlich an dem sehr grossen und kräftigen Fisch zu bestätigen suchte, der mir, durch die Güte meines Freundes Dr. Bence Jones in London, in diesem Augenblick zu Gebote steht (s. oben S. 605),[1] fand sich, dass

[1] An diesem Fische zeigte sich eine sehr ausgesprochene unipolare Wirkung. Die an sich gut isolirende Versuchswanne, in der sich der Fisch im Wasser befand, stand auf drei Siegellackfüssen. Eine auf dem Boden liegende Zinnplatte wurde durch einen Draht mit dem Nerven eines völlig isolirten stromprüfenden Froschschenkels in Verbindung gesetzt. Berührte ich den Fisch mit einem trockenen Glasstabe, so dass er schlug, so fand keine Zuckung statt; sie trat dagegen ein, wenn zugleich der Schenkel mit nassem Finger ableitend berührt wurde. Sie blieb wieder aus, als statt dessen der Schenkel mit einer isolirten Strecke von etwa 225 $^{cm}$ mit Guttapercha umhüllten Telegraphendrahtes in Verbindung gesetzt wurde, die in etwa fünf Windungen aufgerollt war. Als aber der Draht geradlinig ausgestreckt wurde, fand sich die Zuckung ein. Ebenso war sie vorhanden, wenn statt des Drahtes der isolirte Conductor einer Elektrisirmaschine als Leiter von grosser Capacität dem Schenkel angehängt wurde. Die unipolare Wirkung oder Seitenentladung, wie man sie nun nennen will, ging hier also von einem beliebigen Punkt der Wassermasse aus, worin der Fisch im Augenblick des Schlages bald diese, bald jene Stellung gegenüber den Zinnplatten einnahm. Natürlich fand aber die Wirkung auch und unstreitig noch sicherer statt, wenn der Nerv, statt mit der Zinnplatte, mit einem der Metallsättel verbunden wurde, die ich dem Fisch zur Ableitung und Reizung zugleich aufzusetzen pflege. Die Erscheinung ist von praktischer Wichtigkeit bei Versuchen an elektrischen Fischen, in welchen man sich, wie dies von jetzt ab wohl öfter vorkommen dürfte, des stromprüfenden Froschschenkels als Hülfsvorrichtung bedient. Ausserdem erregte sie mein Interesse noch aus folgendem Grunde.

Ich hatte in meinem „Vorläufigen Abriss u. s. w." in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 29. §. 74 die Möglichkeit jener Erscheinung theoretisch in Betracht gezogen. Hr. Matteucci nahm davon Anlass über den noch immer „et surtout dans certains ouvrages allemands" grassirenden Irrthum abzusprechen, als könne man von den Zitterfischen Zuckungen ohne Kettenverband erhalten. Zugleich theilte er eine Versuchsreihe am Zitterrochen mit, welche seiner Meinung nach diesen Irrthum widerlegen sollte. Er legte nämlich dem an die Luft gebrachten und isolirten Thiere die Nerven isolirter stromprüfender Schenkel in geringer Ausdehnung an, und sah diese in Ruhe bleiben, wenn der Fisch schlug (Comptes rendus etc. 1845. t. XXI. p. 515; — l'Institut. No. 610. p. 319; — Archives de l'Électricité. 1845. t. V. p. 491). Dies befremdet nun wohl insofern, als man annehmen muss, die dem Thier aufliegende Nervenstrecke sei stets schon

eine Ueberlastung von nicht weniger als $300^{gr}$ dazu gehörte, um denselben Erfolg zu erzielen.

Ich habe schon oben Bd. I. S. 226 auseinandergesetzt, weshalb man, ohne besondere Messungen, die ich anzustellen noch keine Musse gefunden, aus der Ueberlastung bei diesen Versuchen keinen sicheren Schluss auf die Zeit machen könne, welche von dem Augenblick, wo die Reizung anhebt, verfliesst bis zu dem, wo die Nebenschliessung geöffnet wird. Man kann nicht etwa in den Helmholtz'schen Versuchsreihen nachsehen, welche Zeiträume den von uns angewendeten Ueberlastungen entsprechen, und diese Bestimmungen unmittelbar auf unseren Fall übertragen. Sondern Alles, was hier vor der Hand geschlossen werden darf, ist, dass die bei dem Fischschlag in Betracht kommenden zeitlichen Verhältnisse mit denen bei der Muskelzusammenziehung von einerlei Ordnung seien. Bestätigt es sich, dass an kleinen und schwachen Fischen eine kleinere Ueberlastung als an grossen und starken genüge, um den Schlag vorübergehen zu lassen, so würde daraus [1123] aber noch ferner zu folgern sein, dass der Schlag mit Grösse und Stärke des Fisches an Dauer wachse.

### §. IV. Nähere Untersuchung des secundären Jodfleckes im Versuchskreise des Zitterwelses.

Wir kehren zur Untersuchung der durch den Fischschlag erzeugten Jodflecke zurück. Nach dem Vorigen wird es nicht mehr auffallen, dass der secundäre Fleck zu erscheinen fortfährt, auch wenn man dem Fische Sättel aus minder polarisirbaren Metallen, Kupfer oder Zink, statt der Platinsättel, anlegt, denn auch wenn die Sättel völlig unpolarisirbar wären, bliebe noch die Polarisation an den Platinspitzen übrig.

Was dagegen jetzt befremden kann, ist, dass trotz der kurzen Dauer des Fischschlages bei Anwendung von Platinsätteln der secundäre Fleck nicht grösser ausfällt als der primäre. Nach dem Vorigen scheint dies nicht anders gedeutet werden zu können, als dahin, dass die Dauer des Schlages mit Rücksicht auf seine absolute Stärke doch schon zu beträchtlich ist, um solche Entwickelung des secundären Fleckes auf Kosten des primären zu gestatten. Um den secundären Fleck unter diesen Umständen den primären übertreffen zu lassen, würde es sonach zwei Mittel

---

leistungsunfähig gewesen, keineswegs aber beweist jener Erfolg die Unmöglichkeit unipolarer Zuckungen durch die Schläge des Zitterrochen. Hr. Matteucci hatte eine Hauptbedingung für deren Stattfinden vergessen, nämlich die Gegenwart eines Leiters von ausreichender Capacität jenseit des Nerven.

geben. Erstens Abkürzung des Schlages, wobei die Jodkaliumvorrichtung und die Platinsättel zum Kreise geschlossen bleiben müssten. Ich versuchte dies zu erreichen, indem ich den Fisch mit den Sätteln nur eben berührte, gleich darauf aber die Sättel, ohne sie aus dem Wasser zu ziehen, wieder abhob und möglichst weit fortführte, doch ohne Erfolg. Das zweite Mittel besteht in Schwächung des Schlages, welche am leichtesten so geschieht, dass man die Sättel statt an den Enden des Organes, näher bei einander dem Fisch aufsetzt. Und so gelang es mir neuerlich wirklich einigemal, den secundären Fleck zum stärkeren zu machen. Damit stimmt es auch, dass ich in meinen Tagebüchern vom Herbst 1857, wo ich an kleineren und schwächeren Fischen experimentirte, die vereinzelte Angabe finde, der secundäre Fleck habe den primären übertroffen.

Die hauptsächlichste Aufgabe ist jedoch jetzt hier, den Beweis zu führen, dass der secundäre Fleck jedesmal ausbleibt, [1124] wenn man den durch den Fischschlag entwickelten Ladungen die Gelegenheit zur Abgleichung nimmt. Dazu wurden abermals Froschunterbrecher und Jodkaliumvorrichtung in den Versuchskreis eingeschaltet, aber diesmal nicht so, dass der Fischschlag zwischen sie sich theilte, sondern einfach hinter einander. Der Schlag fand also anfangs freie Bahn im Versuchskreis, aber nur so lange, bis der Gastroknemius des Froschunterbrechers, dessen Ischiadnerv, wie gewöhnlich, durch einen Zweig des Schlages von den Zinnelektroden aus gereizt wurde, den Versuchskreis durch Abheben des Stiftes *p* von der Stützplatte öffnete. Bei dieser Versuchsweise erscheint niemals auch nur eine Spur eines secundären Fleckes. Bei sehr grosser Ueberlastung zwar könnte er sich wieder einfinden, da, wo bei dem im vorigen Paragraphen angewendeten Verfahren doppelsinnige Ausschläge oder solche im umgekehrten Sinne des Fischschlages erfolgten. Doch ist es mir an meinem jetzigen Fisch nicht gelungen, dies mit Sicherheit zu beobachten.

Bei diesen Versuchen ist im Allgemeinen gleichgültig, aus welchem Metall die ableitenden Sättel bestehen. In der Grösse der Ueberlastung, wobei der secundäre Fleck wieder zu erscheinen anfinge, müsste es einen kleinen Unterschied machen, ob die Sättel schwach oder stark polarisirbar sind. Diesen Umstand experimentell zu verfolgen, würde indess sehr schwierig sein.

Umgekehrt gelingt es nun auch leicht, den secundären Fleck einzeln darzustellen, indem man den Froschunterbrecher als Nebenschliessung zur Jodkaliumvorrichtung, wie im vorigen Paragraphen zum Multiplicator, anbringt. Bei hohen Ueberlastungen bleibt alsdann der primäre Fleck ganz aus, oder er erscheint nur spurweise, weil der Polarisationsstrom

entweder schon im Augenblick, wo die Nebenschliessung aufhört, die Oberhand hat, oder sie unmittelbar darauf erhält.

Diese Versuche beweisen jedenfalls, dass man zur Erklärung des doppelten Jodfleckes nicht anzunehmen braucht, der Schlag des Zitterwelses gehe hin und her, sondern dass der verkehrt gerichtete Polarisationsstrom dazu vollkommen ausreicht, der erwiesenermaassen dem Fischschlag auf dem Fusse folgt. Einmal auf die Vorstellung gebracht, dass der Schlag jene [1125] Beschaffenheit haben könne und (vom teleologischen Gesichtspunkt aus) mit Vortheil haben würde, könnte man nun aber noch den Beweis verlangen, dass der Schlag nicht dennoch hin- und hergehe, und dass es nicht dergestalt für den secundären Jodfleck einen zweifachen Grund gebe. Bei näherer Ueberlegung indess liegt auch dieser Beweis schon in unseren Versuchen. Denn wenn der Schlag des Zitterwelses hin- und herginge, würde es nicht gelingen, den primären und den secundären Fleck, wie wir soeben thaten, dadurch zu sondern, dass man entweder nur die eine, oder nur die andere Hälfte des Strömungsvorganges durch die Jodkaliumvorrichtung schickt. Höchstens könnte man vermuthen, dass vielleicht die letzten Ausläufer des Schlages, zur Zeit, wo bereits die Polarisation die Oberhand gewinnt, die umgekehrte Richtung von der Hauptmasse des Schlages besitzen, obschon man in den oben S. 660 beschriebenen Versuchen mit Zinksätteln und hohen Ueberlastungen dann doch zuweilen einen verkehrten Ausschlag erhalten müsste.

Allein es giebt schliesslich noch eine Art, das Entstehen des secundären Fleckes durch den Fischschlag zu verhindern, wodurch auch diese Möglichkeit abgeschnitten wird. Sie besteht darin, den Versuch auf einer siedheissen Glasplatte anzustellen. Alsdann bleibt jede Spur eines Fleckes an der mit dem Kopf verbundenen Platinspitze aus. Hätte der Schlag irgend welche vom Kopfe zum Schwanz im Versuchskreise gerichtete Theile, so müsste ein doppelter Fleck erscheinen, denn nur ein secundärer Fleck wird, wie wir sahen (S. 656), durch Siedhitze am Entstehen verhindert.

## §. V. Schlussbemerkungen.

Vielleicht wäre möglich, noch auf einem anderen Wege sich zu vergewissern, dass der Schlag des Zitterwelses nicht hin- und hergehe. Dazu ist uns, vornehmlich durch die schönen Untersuchungen des Hrn. Paalzow über die Natur des Schlages der Leydener Flasche, in jüngster Zeit der Weg gebahnt worden.[1] Nach dem oben S. 625 entwickelten

[1] Monatsberichte 1860. S. 497; — 1861. S. 880. — Poggendorff's Annalen u. s. w. 1861. Bd. CXII. S. 567.

Princip ist zwar kaum zu hoffen, dass [1126] der Schlag des Zitterwelses eine GEISSLER'sche Röhre durchdringen werde. Aber man wird wenigstens damit den SAVARY'schen Magnetisirungsversuch[1] anstellen können, dessen durch Hrn. HELMHOLTZ gegebene Deutung[2] jetzt durch Hrn. FEDDERSEN und Hrn. PAALZOW bestätigt ist. Werden in verschiedenem Abstande von einem geradlinig ausgespannten Draht, durch den man den Zitterwelsschlag schickt, passend angebrachte Stahlnadeln sämmtlich in gleichem Sinne magnetisirt, oder empfangen solche Nadeln im Inneren einer Magnetisirungsrolle stets die gleiche Polarität, welches auch die Stärke sei, in der man den Schlag durch die Rolle sendet: so wird die Gewissheit noch gesteigert sein, mit der wir schon jetzt behaupten können, dass der Zitterwelsschlag nur in einerlei Sinn erfolgt. Ich fand noch nicht Musse, diese Versuche anzustellen.

Wie die Sachen stehen, ist kein Grund anzunehmen, dass der doppelte Jodfleck eine dem Zitterwelsschlag eigenthümliche Wirkung sei, vielmehr nicht zu zweifeln, dass er am Zitterrochen und Zitteraal unter geeigneten Umständen eben so sich zeigen müsse. Auch hat ihn am Zitterrochen Hr. MATTEUCCI vielleicht schon einmal vor Augen gehabt (s. oben S. 650 Anm. 6). Wie aber Hr. MATTEUCCI selber bei soviel anderen Gelegenheiten, wie die übrigen Beobachter am Zitterrochen und Zitteraale diese Erscheinung übersehen konnten, ist nicht leicht zu verstehen. Bei seinen ältesten Versuchen zwar bediente sich Hr. MATTEUCCI unzweckmässig zweier Platinbleche, aber bei seinen neuesten Versuchen hatte er, wie auch JOHN DAVY, SCHÖNBEIN und MIRANDA und PACI, gleich uns zwei Drähte, und wenn kein besonderer Grund für das Gegentheil da war, hätte in allen diesen Fällen der secundäre Fleck ebenso deutlich wie in dem unsrigen sich zeigen müssen.

Da ich mich namentlich mit Hrn. FARADAY hier sehr ungern im Widerspruche sah, so wollte ich nicht unterlassen, durch [1127] treue Nachbildung seines Verfahrens unsere Ergebnisse so vergleichbar wie möglich zu machen. Hr. FARADAY leitete den Schlag mit Kupfersätteln ab, und schickte ihn bald durch die Jodkaliumlösung von einer Platinspitze zu einer Platinplatte, bald umgekehrt von der Platte zur Spitze. Er wiederholte den Versuch häufig, denn mit Hülfe dieses Prüfungsmittels gelangte er zu dem oben S. 630 erwähnten Satze, dass jeder mehr nach vorn gelegene Punkt des Zitteraales sich positiv verhält gegen jeden mehr nach hinten gelegenen. Gleichwohl sagt er a. a. O. (s. oben S. 650. Anm. 3)

---

[1] POGGENDORFF's Annalen u. s. w. 1826. Bd. VIII. S. 352; — 1827. Bd. IX. S. 443; — Bd. X. S. 73.

[2] Ueber die Erhaltung der Kraft u. s. w. Berlin 1847. S. 44.

ganz bestimmt: „*Whenever the wire was in conjunction with the conductor at the fore part of the Gymnotus, iodine appeared at its extremity; but when connected with the other conductor, none was evolved at the place on the paper where it before appeared.*“ Dass auch gegenüber einer Platte als Anode eine Spitze als Kathode den secundären Fleck entwickeln könne, wurde schon oben S. 657 gezeigt, und überdies hatte Hr. MATTEUCCI in dem einzigen Falle, wo er den secundären Fleck vielleicht schon vor mir bemerkte, gerade auch einen Draht zwischen zwei Platinplatten angewendet (s. oben S. 650. Anm. 6). Allerdings lagen diese dem Zitterrochen an, so dass Hr. MATTEUCCI ausser den beiden Platinelektrodenpaaren in Jodkaliumlösung noch ein drittes mit Seewasser benetztes und den Fisch zwischen sich fassendes im Kreise hatte, während Hr. FARADAY dem Zitteraale, wie gesagt, Kupfersättel aufsetzte. Jetzt aber setzte auch ich dem Zitterwelse Kupfersättel auf, und liess seinen Schlag abwechselnd von Spitze zu Platte, und von Platte zu Spitze gehen; aber stets im letzteren Fall erhielt ich an der Spitze den secundären Fleck.

Ich weiss den Widerspruch, der somit hier zwischen meinen Ergebnissen und denen des grossen Entdeckers bestehen bleibt, nur so zu erklären, dass vielleicht erstens der Schlag des Zitteraales schon zu stark und anhaltend sei, damit ein secundärer Fleck entstehe (s. oben S. 653), und dass vielleicht zweitens die Polarisation der Kupfersättel und der Jodkaliumvorrichtung in Hrn. FARADAY's und in meinen Versuchen etwa mit der gleichen elektromotorischen Kraft gewirkt habe, dass aber der Widerstand des Kreises in seinem Falle wegen der grösseren Länge des Zitteraales ein grösserer gewesen sei, als bei [1128] mir. Diese Deutung liesse sich begreiflich auch auf die Versuche der übrigen Beobachter am Zitteraal ausdehnen. Vielleicht dass auch am Zitterrochen, trotz der besseren Leitung des Seewassers, der Widerstand zu gross war, weil die Versuche an der Luft geschahen, während bei mir die Platinsättel nach dem Schlage durch die Wassermasse der Versuchswanne geschlossen blieben.

---

XXX.

# Ueber die räumliche Ausbreitung des Schlages der Zitterfische.

(Gelesen in der Gesammtsitzung der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 14. April 1864.)[1]

Hierzu Taf. III. Fig. 8—16.

## §. I. Einleitung.

Die höchste und letzte Frage in Betreff der Zitterfische ist natürlich die nach dem Mechanismus, wodurch die elektrischen Platten vorübergehend in Spannung gerathen. Die Beantwortung dieser Frage, obschon vermuthlich nicht so schwierig, wie die der Frage nach dem Mechanismus der Muskelverkürzung, ist doch noch in weitem Felde. Sie wird, wenn überhaupt, erst spät auf dem Weg einander ergänzender morphologischer und experimenteller Ermittelungen erreicht werden, der allein vermag, uns mit den hier noch gänzlich fehlenden Zwischengliedern bekannt zu machen; und der Fortschritt in dieser Richtung dürfte, wie oft bei solchen Bestrebungen, zum Theil das Werk des Zufalles sein.

Es giebt aber noch eine andere Art, das Problem der Zitterfische anzugreifen, welche anspruchsloser und minder verlockend, doch jener voraufgehen muss, und ausserdem das für sich hat, dass sie ihrem Ziele mit methodischer Sicherheit sich nähert. Ich meine die, welche im Gegensatz zur physikalischen Theorie, worauf die erstere Bemühung es abgesehen hat, gleichsam nur eine mathematische Theorie bezweckt, indem sie die Erscheinungen nach Raum, Zeit und Intensität scharf aufzufassen, sodann nach bekannten Gesetzen aus einer ihrer Natur nach unbestimmten, wohl aber gleichfalls nach Raum, Zeit und [318] Intensität festgestellten Ursache herzuleiten sucht. Wie die mathematische Theorie der galvanischen Kette, des Magnetes, unabhängig von jeder

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1864. S. 317. -- Vergl. oben S. 601 Anm.

Voraussetzung über die elektromotorische Kraft, den Magnetismus, möglich war, und erst die Grundlage für die Erörterung der in der Kette, dem Magnete wirksamen Ursache abgab: so ist eine ähnliche Betrachtung des Schlages der Zitterfische nicht nur möglich, sondern vor Allem nöthig, und wird dem Sinn nach eine mathematische Theorie heissen dürfen, auch wenn der Gegenstand nicht erlaubt, ihr die mathematische Form zu geben.

Bereits in meinem 'Vorläufigen Abriss', im Jahr 1842,[1] stellte ich mich auf diesen Standpunkt, und versuchte ich, die wichtigsten, die räumliche Ausbreitung des Zitterfischschlages betreffenden Thatsachen aus der morphologisch und physiologisch wahrscheinlichsten Meinung abzuleiten, das elektromotorische Element des Organes seien die damals zwischen dessen queren Scheidewänden angenommenen Gallertscheibchen, an deren Stelle jetzt die von Bilharz erkannte elektrische Platte trat (s. oben S. 603). Meine damaligen Aeusserungen wurden theils von Solchen missverstanden, welche von jedem Theoretisiren über das elektrische Organ verlangten, dass dadurch auch gleich die Elektricitätsentwickelung erklärt würde;[2] theils blieben sie unbeachtet, weil sie in grösster Kürze, ohne experimentelle Belege, mitgetheilt waren. Es wird deshalb nicht ungehörig sein, wenn ich ausführlicher darauf zurückkomme, um so weniger, als ich jetzt nicht allein die Theorie in sich besser zu begründen, sondern auch einige Versuche zu deren Stütze beizubringen vermag.

Es soll zunächst nur gezeigt werden, dass was über die Richtung und Stärke der Elektricitätsbewegung in der leitenden Umgebung der Zitterfische bekannt ist, nach den Leitungsgesetzen der Elektricität mit der Vorstellung stimmt, wonach im Augenblick des Schlages die eine Fläche der elektrischen Plat- [319] ten positiv, die andere negativ wird. Ihrer Natur nach fällt diese Aufgabe in das von den HH. Kirchhoff, Helmholtz u. A. bearbeitete Gebiet der Fortpflanzung des Stromes in nicht linearen Leitern. Die allgemeinen Grundsätze, nach denen hier mathematisch zu verfahren wäre, stehen fest. Aber wie in der Lehre vom Muskelstrom ist man wegen der verwickelten Gestalt der zu betrachtenden körperlichen Leiter meist nur auf die Anschauung und auf Versuche an schematischen Vorrichtungen angewiesen. Nur unter gewissen Bedingungen von idealer Einfachheit vermag die Theorie Richtung und Stärke der Strömung in einem beliebigen Punkt einer den Fisch umgebenden leitenden Masse schon jetzt mit Schärfe anzugeben.

---

[1] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1843. Bd. LVIII. S. 25–30. §. 64–67.
[2] S. die Fortschritte der Physik im Jahre 1846. Berlin 1848. S. 466.

## §. II. Entwickelung einer Hypothese über die Mechanik des Zitterfischschlages.

Obschon, wie gesagt, die Aufstellung einer physikalischen Hypothese über die Ursache des Zitterfischschlages hier eigentlich nicht beabsichtigt wird, so erfordern doch Gründe, die sogleich einleuchten werden, dass wir zuerst einer solchen Hypothese unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Schon Athanasius Kircher sprach, mit Rücksicht auf den Zitterrochen, von den *innumeris circa hunc piscem nugamentis*,[1] zu denen beizusteuern er natürlich nicht versäumte. Seitdem aber Adanson die elektrische Natur des Schlages am Zitterwelse vermuthet, Walsh sie am Zitterrochen erwiesen hatte (vergl. oben S. 622), geschah kaum ein Schritt in der Elektricitätslehre, der nicht zu einer neuen Hypothese über den Mechanismus des elektrischen Organes Anlass gab. Nicholson verglich die Säulen des Organes Elektrophoren aus Glimmer,[2] Volta sah darin Säulen nach Art der seinigen,[3] J. W. Ritter secundäre Säu- [320] len, die vom Gehirn aus geladen würden,[4] P. Erman glaubte, dass die von ihm entdeckte unipolare Leitung gewisser Stoffe den Schlüssel zum Problem enthalte,[5] und zuletzt fehlte es sogar nicht an Solchen, welche diesen Schlüssel in der Induction suchten.[6] Hypothesen dieser Art, denen es an jeder wirklichen Grundlage gebrach, fielen natürlich zu Boden, kaum dass sie ausgesprochen waren. Aber auch der Volta'schen Vorstellung, der doch der blosse Anblick des Torpedo- und Gymnotusorganes das Wort zu reden schien, standen bei näherer Ueberlegung ernste Schwierigkeiten entgegen. Ich rede nicht davon, dass nach Volta's ursprünglicher Meinung feuchte Leiter, so wenig wie Metalle, unter sich eine wirksame Anordnung abgeben sollten. Dies Bedenken, worauf er schon bei seiner Erklärung der Zuckung ohne Metalle gestossen war, umging Volta bekanntlich, indem er seine zweite Klasse der Leiter in eine

---

1 Magneticum Naturae Regnum. Amstelodami 1667. 12°. p. 192.

2 Gilbert's Annalen der Physik. 1806. Bd. XXIII. S. 276.

3 Collezione dell' Opere ec. Firenze 1816. t. II. p. II. p. 99.

4 Beiträge zur nähern Kenntniss des Galvanismus und der Resultate seiner Untersuchung. Bd. II. St. 3. 4. 1805. S. 243. Anm.; — Gehlen's Journal für die Chemie, Physik u. s. w. 1807. Bd. IV. S. 644. Anm. — [Ritter's Idee erhielt in unserer Zeit durch Hrn. Poggendorff, in Folge seiner schönen Versuche mit der Wippe, eine neue Gestalt (Annalen u. s. w. 1843. Bd. LX. S. 577)].

5 Gilbert's Annalen der Physik. 1806. Bd. XXII. S. 44. 45.

6 R. Böttger in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1840. Bd. L. S. 39; — Masson in einer mir nicht zugänglichen Thèse; — Henry in Transactions of the American Philosophical Society etc. New Series. 4°. 1843. Vol. VIII. p. 11. (1840). — S. auch Pianciani, Comptes rendus etc. 1842. t. XV. p. 692.

zweite und dritte spaltete.[1] Allein erstens wusste man im Organe die drei ungleichartigen Bestandtheile nicht anzugeben, welche zum Wesen der Kette gehören; zweitens wirkt die Säule beständig, während das Organ sichtlich nur schlägt, wenn es dem Fische beliebt. Die Hypothesen, welche Volta selber, und nach ihm mehrere Forscher erdachten, um über diese Schwierigkeiten hinwegzukommen, laufen meist darauf hinaus, beim Schlag entweder den Fisch gewisse Bewegungen vornehmen zu lassen, um die elektromotorischen Bestandtheile seiner Batterie erst gehörig in Berührung zu bringen,[2] oder einen bis dahin fehlenden leitenden oder elektro- [321] motorischen Bestandtheil durch den Willen des Thieres zufliessen zu lassen.[3] Als elektromotorische Bestandtheile aber dachte man sich dabei theils die gewöhnlichen Thierstoffe, sehnige Scheidewände, Nerven, Blut und eiweissartige Flüssigkeiten, theils auch das sogenannte Nervenfluidum.[4]

Dass keine dieser Hypothesen mehr war, als ein müssiges Spiel der Phantasie, würde nöthigenfalls dadurch bewiesen, dass deren keine auch nur einen neuen Versuch hervorrief. Was die Rolle der gewöhnlichen Thierstoffe bei der Erzeugung des Schlages betrifft, so habe ich gezeigt, dass die thierischen Gewebe sich elektromotorisch gleichartig verhalten,[5] und ich hatte daher gewiss Recht, als ich, an der oben S. 668 angeführten Stelle, einfach die damals im Organe beschriebenen Gallertscheibchen unter dem Einflusse des Willens elektromotorisch wirksam werden liess. Die elektromotorischen Bestandtheile, aus denen die Elementarketten der Fischsäulen bestehen, sind nicht in optisch unterscheidbaren Gebilden, in einander berührenden ungleichartigen Geweben oder thierischen Flüssigkeiten zu suchen, so wenig, wie man mit dieser Annahme zur Erklärung des Muskel- und Nervenstromes ausreicht. Vielmehr ist der Sitz der elektromotorischen Kraft auch hier in das Innere eines morphologisch ein-

---

[1] S. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 92. 93.

[2] So Volta selber (Collezione dell' Opere. t. II. p. II. p. 113. 114; — Brief an Configliachi „Sopra esperienze ed osservazioni da interprendersi sulle Torpedini“, ivi, p. 259; — deutsch in Gehlen's Journal für die Chemie. Physik u. s. w. 1807. Bd. IV. S. 616) und Hr. Becquerel d. V. (Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. 1836. t. IV. p. 289).

[3] So Alex. v. Humboldt (Reise in die Aequinoctial-Gegenden des neuen Continents in den Jahren 1799—1804. Stuttgart und Tübingen 1820. Th. III. S. 321) und Hr. Valentin (Artikel „Elektricität der Thiere“ in R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. Braunschweig 1842. S. 276. 277; — Beiträge zur Anatomie des Zitteraales u. s. w. Neuchatel 1841. 4°. S. 58).

[4] Vergl. z. B. Pacini, Sulla Struttura intima dell' Organo elettrico del Gimnoto e di altri Pesci elettrici ec. Firenze 1852. p. 27 e seg.

[5] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 481 ff.

heitlichen Gebildes zu verlegen, der jetzt sogenannten elektrischen Platte. In Betreff der darin elektromotorisch wirksamen Stoffe und der Lebhaftigkeit ihrer elektrochemischen Wechselwirkung, haben wir alsdann für unsere Vorstellungen freies Feld. An Stelle von Blut, Nerven, Bindegewebe und [322] ähnlichen Dingen, die sämmtlich nur schwach alkalische Reaction besitzen, und von denen nie einzusehen war, wie sie zu einer mächtig wirksamen Säule zusammentreten sollten,[1] können wir uns jetzt, wenn wir wollen, einerseits die elektronegativsten Substanzen, wie Ozon, andererseits die elektropositivsten, wie Wasserstoff, in regster Wechselwirkung denken.

Von hier aus lag mir eine Vermuthung sehr nahe, welche geeignet scheint, zu erklären, wie das Organ nur unter dem Einflusse der Nerven elektromotorisch thätig wird, und welche zugleich den Vortheil bietet, diese Thätigkeit mit der von Muskeln und Nerven unter Einen Gesichtspunkt zu vereinigen. Diese Vermuthung ist, dass in der elektrischen Platte, wie in den Muskeln und Nerven, dipolar elektromotorische Molekeln vorhanden seien, die im Zustand der Ruhe ihre Pole entweder nach allen möglichen, oder zu zweien nach entgegengesetzten Richtungen kehren, so dass ihre Wirkung nach aussen verschwindet, die aber beim Schlagen sämmtlich ihre positiven Pole schnell der Fläche des Organes zuwenden, von welcher der positive Strom ausgeht.[2] Die elektromotorischen Molekeln muss man sich auch hier als verschiebbare und um ihren

---

[1] Vergl. Schönbein, Archives de l'Électricité. t. I. 1841. p. 456. — [S. auch oben S. 273 ff.].

[2] Zu meinem Erstaunen fand ich lange nachher, dass dieser Gedanke nicht neu, sondern von einem sinnreichen Forscher schon zwölf Jahre früher ausgesprochen war, als ich in meinem Werke die Hypothese elektromotorischer Molekeln in Nerven und Muskeln entwickelte. Bei Gelegenheit seiner bereits 1831 zu La Rochelle angestellten Versuche am Zitterrochen sagte 1836 Hr. Colladon: „*Dans cette hypo-„thèse, les organes électriques des torpilles seraient composés d'un faisceau de piles „latentes formées d'éléments bi-polaires très-petits nageant dans un fluide et dis-„posés sans ordre dans les tubes aponévrotiques. Ces éléments bi-polaires, sous „un acte de volonté de l'animal, ou par une action nerveuse artificielle, se dispo-„seraient subitement dans un ordre régulier et tourneraient tous ou presque tous leurs „pôles positifs vers une des faces de l'animal. Sous l'action volontaire le pôle positif „serait toujours tourné vers le dos de la torpille: cette disposition régulière des „éléments ne durerait qu'un temps très-court, et le fluide lancé sur les deux faces „se réunirait immédiatement soit dans le corps de la torpille, soit au travers des „corps conducteurs au contact avec une portion de la surface. Les variations d'in-„tensité dépendraient du nombre des éléments qui seraient dirigés vers les faces „par un effort plus ou moins violent.*“ Diese Stelle war meines Wissens nur im Institut, 1836. t. IV. No. 181. p. 350 abgedruckt. Die Comptes rendus etc. 1836. t. III. p. 490, die Annales des Sciences naturelles etc. 2e Sér. t. VI. Zoologie. 1836. p. 255 und Poggendorff's Annalen u. s. w. 1836. Bd. XXXIX. S. 411 enthalten nur Hrn. Colladon's Versuche.

Schwerpunkt drehbare Herde einer im Sinn ihrer Axe stattfindenden chemischen Thätigkeit denken, derselben etwa, welche die Athmung der Organe aus- [323] macht (vergl. oben S. 122. 291). Es können mehrere Molekeln hintereinander in der Dicke der Platte liegen, so dass die Organe Säulen von noch ungleich grösserer Gliederanzahl wären, als sie schon vermöge der Anzahl der Platten vorstellen.

Dass der Fisch durch wiederholtes Schlagen ermüdet, deutet im Verein mit dem Gefässreichthum der Organe darauf, dass darin, wie in den Muskeln und der grauen Substanz, im Gegensatz zu den gefässarmen Nervenstämmen und der ebenso beschaffenen weissen Substanz (vergl. oben S. 251) ein bedeutender Stoffverbrauch stattfindet, und insbesondere die Thätigkeit der Organe begleitet.[1] Unter gewissen Bedingungen liesse sich dies so verstehen, dass der verstärkte Strom einer säulenartig angeordneten Molekelreihe in deren Innerem von rasch erschöpfender Elektrolyse begleitet sein kann, während die Elektrolyse der Molekeln durch ihren eigenen Strom viel kleiner ausfällt, vollends aber, wenn in der Ruhe die Ströme je zweier Molekeln einander grossentheils aufheben. Eine Annahme über die Anordnung der Molekeln im Ruhezustande, wobei Letzteres eintrifft, ist derjenigen, wobei die Molekeln ihre Pole nach allen Richtungen kehren, auch deswegen vorzuziehen, weil bei dieser dieselbe Schwierigkeit stattfindet, auf welche Hr. Dove bei der Theorie der Elektromagnete aufmerksam machte, dass man nämlich nicht sieht, weshalb die einmal gerichteten Molekeln nicht in der neuen Lage bleiben.[2] Nimmt man dagegen auch in der Ruhe eine besondere Anordnung der Molekeln an, so setzt man damit zugleich Kräfte, um die Molekeln, nachdem sie aus der Ruhe- [324] lage gebracht wurden, in diese zurückzuführen. Der Uebergang der dipolaren Molekeln aus der peripolaren in die säulenartige Anordnung, und umgekehrt, wie ich ihn im Nerven zur Erklärung des Elektrotonus angenommen habe, würde der Form nach derselbe Vorgang sein, wie der beim Schlagen des Organes. Man kann sich auch die Molekeln des Organes peripolar angeordnet denken, nur nicht mit ihren Axen der Richtung des Schlages parallel, da von mir an Malopterurus,[3] von Hrn. Eckhard an Torpedo[4] gezeigt wurde, dass ein in jener Richtung aus dem Organe geschnittener Streif zwischen seinen Polflächen und seinem Umfang in der Ruhe keinen Strom giebt.

---

[1] [Hr. Boll konnte keine Säurung und keine Vermehrung der Blutfülle bei Thätigkeit des Zitterrochenorganes wahrnehmen. Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 100. — Vergl. oben S. 648].

[2] Untersuchungen im Gebiete der Inductionselektricität. Berlin 1842. 4°. S. 54.

[3] S. unten Abh. XXXI. §. VI.

[4] Beiträge zur Anatomie und Physiologie. Giessen 1858. 4°. Bd. I. S. 161. 162.

Uebrigens bin ich im Besitze von Thatsachen, welche die vorgetragene Hypothese insofern unterstützen, als sie dadurch sehr einfach erklärt werden. Ich will jedoch jetzt nicht weiter darauf eingehen, wo diese Hypothese, welches auch sonst ihr Werth sei, nur deshalb zur Sprache kam, weil sie mein Freund, Hr. G. R. Kirchhoff, auf meine Bitte zur Grundlage einer Betrachtung über die räumliche Ausbreitung des Zitterfischschlages gemacht hat, die hier für uns natürlich vom unmittelbarsten Interesse und von der grössten Wichtigkeit ist. Er hat mir diese Theorie in einem Schreiben aus Heidelberg, vom 1. October 1857, mitgetheilt.

## §. III. Hrn. Kirchhoff's Theorie der elektromotorischen Molekeln und des elektrischen Organes.

„Die Theorie einer elektromotorischen Molekel ist sehr einfach, wenn „man von der Polarisation, die stattfinden muss, absieht und annimmt, „dass die Leitungsfähigkeiten der Theile der Molekeln und der Flüssigkeit „gleich sind. Es sei — um mit der Betrachtung eines speciellen Falles „zu beginnen — die Molekel eine Kugel, die zur Hälfte aus einem, zur „Hälfte aus einem andern Metalle besteht; die beiden Metalle berühren „sich in einer Fläche, die durch eine Kreislinie begrenzt ist; in dieser „Kreislinie treffen die drei Leiter, die zu betrachten sind, zusammen. „Wenn die Gestalt der Molekel irgend welche andere ist, so wird es doch „auch immer eine in sich zu- [325] rückkehrende Curve geben, in der die drei „heterogenen Leiter zusammentreffen; von der Gestalt dieser Curve hän- „gen einzig und allein die Strömungslinien unter der gemachten Voraus- „setzung ab. Es stimmt nämlich in Richtung und Grösse die Strömung „in einem Punkte $P$ — in der Flüssigkeit oder in der Molekel selbst — „überein mit der Kraft, welche auf einen Magnetpol im Punkte $P$ aus- „geübt wird von einem elektrischen Strome, welcher in jener Curve fliesst. „Es fallen daher die Strömungscurven zusammen mit den Kraftlinien „jenes elektrischen Stromes in Bezug auf einen Magnetpol. Sind viele „elektromotorische Molekeln neben einander vorhanden, so stimmt in der- „selben Weise die Strömung in einem Punkte in Richtung und Grösse „überein mit der Kraft, welche auf einen Magnetpol in diesem Punkte „ausgeübt werden würde von elektrischen Strömen, die die Molekeln in „den bezeichneten Curven umfliessen. Die Richtung der Strömung ist „überall die Richtung, die eine unendlich kleine Magnetnadel unter dem „Einfluss der gedachten Ströme annehmen würde.“

„Der Beweis für diese Behauptung ist der folgende: Es seien $x, y, z$ „die rechtwinkligen Coordinaten eines Punktes des betrachteten Systemes „und $u$ die elektrische Spannung (oder das elektrische Potential) in die-

„sem Punkte; $\frac{du}{dx}, \frac{du}{dy}, \frac{du}{dz}$ sind dann proportional mit den Componenten „der Stromdichtigkeit nach den Coordinatenaxen für denselben Punkt. „Es besteht dabei die Gleichung

$$\frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} + \frac{d^2u}{dz^2} = 0;$$

„und zwar muss dieselbe, wenn die Flüssigkeitsmasse nach allen Rich- „tungen sich bis in die Unendlichkeit erstreckt, wie oben stillschweigend „vorausgesetzt ist, für alle Theile des unendlichen Raumes gelten. An „den Berührungsflächen der heterogenen Leiter ändert $u$ sich sprung- „weise. Es soll der Raum, den die Flüssigkeit einnimmt, 0 heissen, „der Raum, den die Theile der Molekeln von der einen Art einnehmen, „1, und der Raum, welchen die Theile derselben von der andern Art „erfüllen, 2; es soll wei- [326] ter $u$ bezeichnet werden durch $u_0$, $u_1$ „oder $u_2$, je nachdem der Punkt, auf den es sich bezieht, in dem „Raume 0, 1 oder 2 liegt; es sollen endlich (0, 1), (1, 2), (2, 0) die elek- „trischen Differenzen je zweier der heterogenen Leiter genannt werden. „Es muss dann

„für die Grenzflächen von 0 und 1 $u_0 - u_1 = (0, 1)$
„ „ „ „ „ 1 „ 2 $u_1 - u_2 = (1, 2)$
„ „ „ „ „ 2 „ 0 $u_2 - u_0 = (2, 0)$

„sein. Ferner müssen an diesen Grenzflächen $\frac{du}{dx}, \frac{du}{dy}, \frac{du}{dz}$ keine Sprünge „zeigen. Endlich müssen dieselben Differentialquotienten in der Unend- „lichkeit verschwinden. Durch diese Bedingungen ist die Funktion $u$ bis „auf eine additive Constante vollständig bestimmt;[1] man findet dieselbe „durch die folgende Erwägung.“

„Für einen geschlossenen elektrischen Strom lassen sich nach einem „bekannten von Ampère aufgestellten Satze in Beziehung auf seine mag- „netischen Wirkungen magnetische Flüssigkeiten substituiren, die auf „einer beliebigen durch die Stromescurve begrenzten Fläche auf gewisse „Weise vertheilt sind. Diese Substitution ist nur dann nicht erlaubt, „wenn es sich um die Wirkung des Stromes auf einen in der gewählten „Fläche liegenden Punkt handelt. Ist $v$ das Potential der magnetischen „Fläche in Beziehung auf einen Punkt $(x, y, z)$, so erleiden bei dem „Durchgange durch die Fläche $\frac{dv}{dx}, \frac{dv}{dy}, \frac{dv}{dz}$ keine Sprünge, $v$ selbst aber

---

[1] Vergl. Poggendorff's Annalen u. s. w. Bd. LXXV. S. 189.

„ändert sich sprungweise um $4\pi i$, wenn $i$ die Intensität des Stromes be-„deutet, für den sich die magnetische Fläche substituiren lässt.“

„Man wird hiernach den für $u$ aufgestellten Bedingungen vollständig „genügen, wenn man $u$ gleichsetzt dem Potentiale von magnetischen Flüs-„sigkeiten, welche auf den Grenzflächen der heterogenen Leiter in gewis-„ser Weise vertheilt sind, nämlich: auf den Grenzflächen von 0 und 1 „so, dass diese Flächen sich substituiren lassen für Ströme, die ihre Con-„touren mit der Intensität $\frac{(0,\,1)}{4\pi}$ durchfliessen, auf den Grenzflächen von „1 und 2 so, dass diese Flächen sich substituiren lassen für Ströme, die „mit der Intensität $\frac{(1,\,2)}{4\pi}$ ihre Contouren durchfliessen, auf den Grenz-„flächen von 2 und 0 endlich so, dass diese Flächen sich für Ströme „substituiren lassen, die mit der Intensität $\frac{(2,\,0)}{4\pi}$ ihre Contouren durch-„fliessen. Die Contouren der drei Gattungen von Grenzflächen fallen zu-„sammen und bilden die Curve, in denen die drei heterogenen Leiter zu-„sammenstossen; die bezeichneten magnetischen Flächen lassen sich daher „zusammen für Ströme substituiren, die diese Curve mit der Intensität

$$\frac{1}{4\pi}\big((0,\,1) + (1,\,2) + (2,\,0)\big)$$

„durchfliessen. Die Differentialquotienten des Potentials dieser Ströme „(die eindeutig sind, während das Potential selbst vieldeutig ist) müssen „hiernach überall den Differentialquotienten von $u$ gleich sein; mit an-„deren Worten: die Kraft, die von diesen Strömen auf einen Magnetpol „ausgeübt wird, der an irgend einem Punkte sich befindet, muss der „Richtung und Grösse nach die Strömung darstellen, die an diesem Punkte „von den elektromotorischen Molekeln hervorgerufen wird.“

„Es soll nun der Fall näher betrachtet werden, dass innerhalb eines „durch zwei senkrechte Grundflächen begrenzten Cylinders eine unendliche „Menge gleichartiger unendlich kleiner elektromotorischer Molekeln gleich-„mässig und so angeordnet ist, dass ihre Axe der Cylinderaxe parallel „sind. Die bestimmenden Ströme (um diesen Ausdruck zu gebrau-„chen) derjenigen Molekeln, welche in einem Querschnitte des Cylinders „liegen, lassen sich in Beziehung auf jeden Punkt ausserhalb des Cylin-„ders ersetzen durch einen Strom, der den Contour des Querschnittes „durchfliesst und dessen Intensität sich verhält zur Intensität der einzel-„nen Ströme wie die Summe der von diesen umflossenen Flächen zur „Fläche des Querschnitts. Für jeden äusseren Punkt lassen sich also die „be- [328] stimmenden Ströme durch ein Solenoid ersetzen, das die Oberfläche

„des Cylinders bildet. Dieses Solenoid lässt sich für jeden äusseren Punkt „weiter ersetzen durch zwei magnetische Flächen, die mit den Grund- „flächen des Cylinders zusammenfallen und von denen die eine mit nörd- „licher, die andere mit südlicher Flüssigkeit von gleichmässiger Dichtigkeit „belegt ist. Die Richtung, die unter dem Einflusse dieser magnetischen „Flächen eine unendlich kleine Magnetnadel in irgend einem äusseren „Punkte annimmt, ist die Richtung des Stromes, den die elektromotori- „schen Molekeln hervorrufen, in diesem Punkte.“

„Es soll nun noch angenommen werden, dass der Querschnitt des „Cylinders unendlich klein ist, während seine Länge endlich ist. Für die „beiden magnetischen Flächen können dann in Beziehung auf alle in end- „licher Entfernung von ihnen liegenden Punkte magnetische Pole gesetzt „werden. Eine Magnetnadel, die auf der Verbindungslinie zweier ungleich- „namigen Pole sich befindet, stellt sich in die Richtung dieser. Daraus „folgt, dass die Strömungen, die durch die elektromotorischen Molekeln „hervorgerufen werden, in den Punkten der Oberfläche des sie enthalten- „den Cylinders parallel der Axe sind, also in der Oberfläche selbst flies- „sen. Es gilt dieses nur nicht für die Punkte der Oberfläche, die den „Enden des Cylinders unendlich nahe liegen. Wenn man in einem Leiter „eine Fläche, die aus Strömungscurven besteht, isolirend macht, so wird „dadurch nirgend die Strömung weder in der Richtung noch in der Grösse „geändert. Es wird desshalb auch ohne jeden Einfluss sein, wenn der „die elektromotorischen Molekeln enthaltende Cylinder mit einer isoliren- „den Schicht bekleidet wird, sobald nur in unendlich kleiner Ausdehnung „an den Enden die Mantelfläche frei bleibt.“

„Wenn der Querschnitt des Cylinders ein endlicher ist, so wird seine „Oberfläche, wenn sie nicht isolirt ist, von den Strömungscurven geschnit- „ten; es wird dann also eine Aenderung der Strömungen in Grösse und „Richtung eintreten müssen, wenn die Mantelfläche des Cylinders mit „einer isolirenden Schicht belegt wird. Diese Aenderung anzugeben, „scheint mir aber eine sehr schwierige Aufgabe zu sein.“

[329] Hrn. Kirchhoff's schöne Theorie setzt, wie man sieht, eine beständige Wirksamkeit des elektrischen Organes voraus. Zu den darin gemachten Annahmen der Unpolarisirbarkeit, der gleichen Leitungsgüte aller leitenden Stoffe, und der Unendlichkeit der umgebenden leitenden Masse, kommt also noch hinzu die Vernachlässigung der Induction, welche die Entladung begleitet. Doch ist dies, bei der geringen in diesem Gebiet erreichbaren Genauigkeit der Beobachtung, zunächst gleichgültig. Wir können uns der Ergebnisse jener Theorie in den dadurch umfassten Fällen als einer ersten Annäherung bedienen, und zwar unabhängig davon, ob der Molecularhypothese etwas Wahres zu Grunde liege oder nicht. Denn wir

können, wenn wir wollen, die elektrischen Platten als im Sinn ihrer Axe plattgedrückte elektromotorische Molekeln ansehen, und von ihren bestimmenden Strömen, wie von denen der Molekeln sprechen; oder wir können noch einfacher uns das elektrische Organ als eine aus elektromotorischen Flächen aufgebaute Säule vorstellen, deren stromerzeugende Wirkung in einem äusseren Punkt ersetzbar ist durch die magnetische Wirkung, welche eine in diesem Punkte befindliche Magnetnadel von Seiten derselben Flächen erführe, wären diese Flächen unendlich dünne, mit den beiden Magnetismen belegte Scheiben. Die vereinte Wirkung der elektromotorischen Flächen kann alsdann, wofern das Organ als ein Prisma mit senkrechten Grundflächen schematisirbar ist, durch die Wirkung dieser Grundflächen ersetzt werden, deren eine mit nördlichem, die andere mit südlichem Magnetismus belegt wäre. Es verdient gewiss die höchste Bewunderung, dass Hr. FARADAY im Wesentlichen schon im Jahr 1838, sieben Jahre ehe Hr. KIRCHHOFF das erste Problem über Strombewegung in nicht prismatischen Leitern behandelte, diesen Satz durch die Anschauung gefunden und behauptet hat.[1] Leider ist dessen Anwendbarkeit, wie bereits [330] angedeutet wurde, sehr beschränkt, da abgesehen von den Schwierigkeiten, die dafür aus der Gestalt und aus der vielleicht nicht überall gleichen Kraft der Organe erwachsen, die Magnetkraftlinien nicht mehr mit den Stromcurven zusammenfallen, sobald isolirende Scheidewände in's Spiel kommen. Wo man aber mit hinreichender Genauigkeit einen Magnet für das elektrische Organ setzen kann, giebt es fortan ein einfaches Mittel, sich einen beliebigen Durchschnitt durch das zugehörige Stromflächensystem zu verschaffen. Dazu braucht man nur in der wagerecht gestellten Ebene des verlangten Durchschnittes ein mit Eisenfeilicht bestreutes Papier anzubringen und zu erschüttern, bis die magnetischen Curven sich ausgeprägt haben. Nicht bloss die Richtung des Stromes wird sich durch die Anordnung der Späne, sondern auch dessen Dichte durch ihre grössere oder geringere Anhäufung aussprechen.

---

[1] Experimental Researches etc. Vol. II. London 1844. p. 12. Ser. XV. November 1838. §. 1784. — POHL hatte zwar schon 1826 die Stromcurven mit den magnetischen Kraftlinien verglichen (s. meine Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 565), allein dieser Ausspruch beruhte bei ihm nur auf der naturphilosophischen Lehre von der Polarität, und insofern es sich in POHL's Vorstellung dabei nicht, wie in Hrn. FARADAY's, um ein unbegrenztes leitendes Mittel handelte, war ich im Recht, als ich a. a. O. sagte, dass sein Vergleich keinen Sinn habe.

### §. IV. Von der Abwesenheit isolirender Hüllen am elektrischen Organe.

Von Allem muss nun ein Punkt in's Klare gebracht werden, der, obgleich im Grunde ganz unbedenklich, doch lange für Viele ein Anstoss und der Ursprung einer grossen Verwirrung gewesen ist.

Bekanntlich verglich Volta schon in seinem Brief an Banks die Säule dem Organe der Zitterfische, ja er schlug dafür den Namen eines künstlichen elektrischen Organes vor. Volta wusste, dass im Inneren eines Thieres, also auch der Zitterfische, nicht gut isolirende Häute denkbar seien, und wies aus diesem Grunde Nicholson's oben S. 669 erwähnte Theorie zurück. Dennoch setzte Volta bei seinem eigenen Vergleiche des Organes und der Säule voraus, dass letztere bis auf [331] ihre Pole isolirt unter Wasser versenkt sei.[1] Später vermuthlich auf diesen Widerspruch aufmerksam geworden, nimmt er seine Zuflucht zur Annahme, dass beim Schlage die Organe seitlich von den sie umgebenden Geweben sich ablösen.[2] Noch später hat er zwar durch Versuche sich überzeugt, dass starke Säulen schlagen, auch wenn sie in ihrer ganzen Länge mit nassen Binden umwickelt sind. Dennoch, heisst es, liebt Volta noch sich vorzustellen (*ama di figurarsi*), dass die einzelnen Säulen des Organes von einer isolirenden, wenn auch noch so dünnen, vielleicht fettigen Schicht umhüllt seien.[3]

Deluc stellte gleichfalls Versuche mit untergetauchten Säulen an, und da er fand, dass diese dabei ihre Wirkung einbüssten, so schloss er, dass die Kraft der Zitterfische nicht Elektricität, oder dass letztere wenigstens in diesen Thieren noch mehr umgewandelt sei, als seiner Meinung nach schon in der Säule selber.[4]

Auch Ritter befasste sich, ohne bestimmten Erfolg, mit dergleichen Untersuchungen.[5]

Noch im Beginn der vierziger Jahre schrieb Hr. Valentin den die Säulen des Zitterrochenorganes begrenzenden sehnigen Scheidewänden die

---

[1] Collezione dell' Opere ec. Firenze 1816. t. II. p. II. p. 117.

[2] Ivi, p. 268; — Gehlen's Journal für die Chemie, Physik u. s. w. 1807. Bd. IV. S. 631.

[3] L'Identità del Fluido elettrico col così detto Fluido galvanico vittoriosamente dimostrata con nuove Esperienze ed Osservazioni. Memoria communicata al Signore Pietro Configliachi ec. Pavia 1814. 4⁰. p. 75.

[4] Traité élémentaire du Fluide électrico-galvanique. Paris 1804. t. II. p. 253.

[5] Gehlen's Journal u. s. w. A. a. O. S. 633 ff. Anm.

Rolle isolirender Hüllen zu,[1] und Hr. Schönbein neigte sich zur Ansicht, dass der Gymnotus sich willkürlich von dem umgebenden Wasser isoliren könne.[2]

So fanden also bis zu verhältnissmässig neuer Zeit Physiker und Physiologen eine Schwierigkeit darin, sich vorzu- [332] stellen, wie im elektrischen Organ auch ohne Isolation eine Summirung der Elementarwirkungen stattfinde. Gleich in meinem 'Vorläufigen Abriss' habe ich diese Schwierigkeit als illusorisch bezeichnet, und mittels des Principes der Deckung der Ströme das Zustandekommen der Summirung folgendermaassen veranschaulicht.

Befindet sich in einem körperlichen Leiter irgendwo ein elektromotorisches Flächenelement, so wird die Masse des Leiters von der dadurch erregten Strömung erfüllt. Die von beliebig viel und beliebig gelegenen solchen Elementen ausgehenden Strömungen setzen sich in jedem Punkte (nach dem Parallelogramm der Kräfte) zusammen. Sind die Elemente in parallelen Ebenen hinter einander und gleichsinnig angeordnet, so wird eine Verstärkung der Wirkung des einzelnen auf einen gegebenen Punkt stattfinden. Setzt man an Stelle der elektromotorischen Flächenelemente die Platten des elektrischen Organes im Augenblicke der Entladung, so hat man ein Bild davon, wie trotz mangelnder Isolation, die Wirkungen summirt werden.

Diese an sich einleuchtende Vorstellung ist jetzt durch eine strenge, von Hrn. Helmholtz gegebene Ableitung völlig gerechtfertigt,[3] und für den Fall unbegrenzter Ausdehnung des körperlichen Leiters ergiebt sich dasselbe auch auf dem von Hrn. Kirchhoff vorgezeichneten Wege. Durch folgende Versuche wird übrigens die Möglichkeit der Summirung ohne Isolation, wenn es nöthig sein sollte, ausser Zweifel gesetzt.

Der einen langen Seite eines 182 $^{mm}$ langen, 119 $^{mm}$ breiten, 38 $^{mm}$ tiefen, 25 $^{mm}$ hoch mit Brunnenwasser gefüllten Porzellantroges entlang wurden zwei 50 $^{mm}$ hoch mit Fliesspapier bekleidete, 25 $^{mm}$ breite Platinplatten als Enden des Muskelmultiplicators[4] in 130 $^{mm}$ Abstand symmetrisch so aufgestellt, dass die Ebene der Platten zur Wand des Troges senkrecht war. Diese Platten heissen die Ableitungsplatten. Die elektrischen Platten nachzuahmen, dienten 24 aus Platin und Zink zusammengelöthete Plattenpaare. Sie waren quadratisch, von 25 $^{mm}$ Seite,

---

[1] R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Artikel „Elektricität der Thiere". Bd. I. Braunschweig 1842. S. 277.

[2] Archives de l'Électricité. 1841. t. I. p. 459.

[3] Poggendorff's Annalen u. s. w. 1853. Bd. LXXXIX. S. 212.

[4] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 162.

und 3 mm dick, das Zink verquickt. Eine grössere oder [333] geringere Zahl dieser Plattenpaare, je nach Bedürfniss, wurde in säulenartiger Anordnung mit der Kante auf eine Leiste gekittet, wobei zwischen je zwei Paaren 1 mm Zwischenraum blieb.[1] Mittels der Leiste wurde die Säule plötzlich längs der anderen langen Seite des Troges in symmetrischer Stellung versenkt, und der Ausschlag abgelesen. S. Bogen 1 in Fig. 8. Taf. III., wo, wie auch in den übrigen hiehergehörigen Figuren, die dunklen Begrenzungen das Platin oder Kupfer, die lichten das Zink vorstellen; $a_,$, $a'$ sind die Ableitungsplatten.

Diese Art der Beobachtung, dieselbe, welche mir zu den Versuchen an den elektromotorischen Muskelmodellen diente, war durch die doppelte Polarisation geboten, in Folge deren die beständige Ablenkung sehr schwach und unregelmässig ausfiel. Viel besser wäre gewesen, statt der Zinkplatinplatten Elektrodenpaare beständiger Ketten in einer Flüssigkeit anzuwenden, worin sie nicht polarisirt würden, und ebenso die Ableitungsplatten unpolarisirbar zu machen, also z. B. als Flüssigkeit schwefelsaure Zinkoxydlösung, als Elektroden und Ableitungsplatten verquicktes Zink zu nehmen, und die beständigen Ablenkungen an der Spiegelbussole zu beobachten (vergl. oben S. 104 ff.). Zur Zeit jener Versuche besass ich diese Hülfsmittel noch nicht; ich mache die Versuche aber bekannt, wie sie sind, weil ich voraussehe, dass ich noch lange keine Musse finden werde, darauf zurückzukommen, und weil sie, im Wesentlichen, doch auch so ihren Zweck erfüllen.

Bei der beschriebenen Anordnung erhielt ich im Mittel aus 10 Versuchen von

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1, | 2, | 3, | 4, | 6, | 8, | 10, | 12, | 16, | 20 Plattenpaaren, |
| 13·7, | 16·0, | 17·3, | 22·2, | 29·4, | 39·8, | 49·5, | 55·2, | 63·7, | $90^0 + x$ Ausschlag. |

Man sieht, wie die Wirkungen mit der Zahl der Plattenpaare wachsen. Allerdings war deren absolute Stärke sehr klein. Zwar erfolgten Zuckungen eines unter Wasser befindlichen stromprüfenden Froschschenkels, wenn in der Nähe seines Nerven ein Zinkplattenpaar rasch eingetaucht wurde, und sogar nach Abtrennung des Nerven fuhren Zuckungen fort durch unmittel- [334] bare Reizung zu erscheinen. Aber auch vom leisesten subjectiv wahrnehmbaren Schlage war keine Rede,[2] und trotz der grossen Zahl der Säulenglieder bei den Zitterfischen muss man, um deren un-

---

[1] Das Aufkitten geschah, indem ich zwischen den Platten 1 mm dicke Fournierplättchen brachte, welche nachher entfernt wurden.

[2] Eine Prüfung auf elektrischen Geschmack ist in meinem Tagebuche nicht angegeben.

geheure Wirkungen zu verstehen, doch immer eine sehr grosse elektromotorische Kraft ihrer Elementarketten voraussetzen.[1]

Dass DELUC von seiner unter Wasser versenkten Säule keine Wirkung erhielt, erklärt sich so, dass das Wasser zwischen das Silber und Zink der einzelnen Paare drang, daher auch die aus dem Wasser genommene und äusserlich abgetrocknete Säule unwirksam blieb.[2] Mit anderen Worten, DELUC's versenkte Säule war keine Säule mehr.

[335] Es hat also nicht allein keine Schwierigkeit, zu begreifen, wie ohne Isolation die Summirung der Wirkungen geschehe, sondern die Schwierigkeit liegt eher auf der entgegengesetzten Seite. Nur wenn eine Säule aus verschwindend kleinen Elementen in einer Stromcurve gebogen ist, gelingt es schon jetzt, die Wirkung einer die Säule umgebenden isolirenden Hülle wirklich scharf zu bestimmen, und alsdann ist diese Wirkung Null, wie stets, wenn eine Stromfläche isolirend gemacht wird (vergl. oben S. 676). Für den Fall einer anderen Biegung ist zwar die Wirkung nicht Null, aber zu vernachlässigen, da das Eintauchen eines beliebig gebogenen Glasfadens in eine Flüssigkeitsmasse, in welche zwei punktförmige Elektroden tauchen, die Strömung nicht merklich ändert. Für den Fall eines endlichen Querschnittes der Säule, wie auch sonst unter anderen als den obigen Annahmen, lässt sich der Unter-

---

[1] Ich habe 1852 in London mit den HH. FARADAY, BENCE JONES und Anderen Folgendes gesehen. Wir wollten erfahren, wie der Gymnotus der *Polytechnic Institution* gegen fremde elektrische Schläge sich verhalte, da er für seinen eigenen unempfindlich scheint. Auf der Bahn des Fisches, der ruhig den Wänden seines etwa $2^{m}$ langen, $1 \cdot 5^{m}$ breiten und $0 \cdot 5^{m}$ tiefen Troges entlang schwamm, wurde gleichsam ein Thor aus breiten Kupferplatten gebaut. Vielleicht weil er erblindet war, liess er dadurch in seinem gewohnten Kreise sich nicht stören. In dem Augenblicke, wo der Kopf des Fisches zwischen den Platten sich befand, entlud Hr. FARADAY durch sie eine Leydener Batterie, oder ich machte die Platten zu Elektroden der secundären Rolle meines Schlitteninductoriums. Allein obschon wir die Schläge allmählich bis zur grössten Stärke steigerten, welche die Vorrichtungen gerade zuliessen, gelang es uns nicht, den mächtigen Temblador aus seinem Gleichmuthe zu bringen. Aus doppeltem Grunde kein Wunder; einmal weil unstreitig der Gymnotus mit dem Malopterurus die seitdem von mir an diesem entdeckte relative Immunität gegen elektrische Schläge theilt (s. oben S. 638); für's zweite, weil sich ergab, dass wegen der Ausbreitung des Stromes in der bedeutenden Wassermasse auch ein Mensch, der die Hände zwischen den Kupferplatten hielt, von den Schlägen des Inductoriums nichts empfand. Als aber, während ich diesen Versuch anstellte, dem an der anderen langen Seite des Troges befindlichen Gymnotus ein Frosch auf den Rücken gesetzt wurde, und der Gymnotus, das Lebendige spürend, nunmehr seine Batterien entlud, erhielt ich einen Schlag bis in die Elbogen, der mir reichlich Anlass gab, über die grosse Ueberlegenheit der elektrischen Organe nachzudenken.

[2] Ibidem. p. 256.

schied, den die Hülle in der Ausbreitung des Stromes bewirkt, noch nicht angeben. Bestimmt lässt sich nur sagen, dass der von jeder elektromotorischen Fläche ausgehende Strom dabei schwächer wird, weil der Widerstand, den er zu überwinden hat, um den Widerstand der Säule wächst. Bei dem Bestreben aber, mittels der blossen Anschauung abzuleiten, dass die Summe dieser schwächeren Wirkungen auf einen äusseren Punkt grösser ausfalle als vorher, stösst man auf Bedenken, die kaum anders als durch Rechnung zu beseitigen sein werden.

Auch der Versuch, in der beschriebenen Art angestellt, liess mich im Stich. Beim abwechselnden Eintauchen der Säule hinter einem Glasstreif und ohne ihn, fielen die Wirkungen zu unregelmässig aus, um ihnen etwas sicheres zu entnehmen. Mit dem Eintauchen des Streifes, nachdem die Wirkung der Säule beständig geworden, war auch nichts anzufangen, da die Bewegung des Wassers die Polarisation störte.[1] Vielleicht hätte der Unterschied zwischen beiden Anordnungen sich deutlicher ausgeprägt, wenn in dem einen Falle die Wasserschichten zwischen den Plattenpaaren gar nicht über deren Rand fort in Verbindung gestanden hätten, d. h. wenn die Säule wirklich ganz isolirt gewesen wäre.

[336] Da es am elektrischen Organ keine isolirende Hülle giebt; da, wie soeben gezeigt wurde, die Summirung der Elementarwirkungen auch ohne solche Hülle vor sich geht; und da, wie die Folge lehren wird, die wichtigsten in der Ausbreitung des Zitterfischschlages bemerkten Eigenthümlichkeiten sich an nicht isolirten, unter Wasser getauchten Säulen gleichfalls nachweisen lassen, so wird in der Theorie dieses Schlages fortan von der Isolation abzusehen sein. Es folgt zugleich, dass man am elektrischen Organ genau genommen nicht in der Art von Polflächen reden kann, wie bisher geschah, oder dass wenigstens dieser Ausdruck hier ebenso uneigentlich gebraucht wird, wie am Magnete (vergl. oben S. 629). Der strenge Begriff von Polflächen ist der zweier Flächen von verschiedenem, aber für eine jede constantem Potential, deren Umrisse durch eine Kraftfläche zusammenhängen. Eine untergetauchte, bis auf ihre letzte positive und negative Fläche isolirte Säule aus metallischen Plattenpaaren hat daher an diesen beiden Flächen wahre Polflächen, und die mantelförmige Grenze zwischen Wasser und isolirender Hülle ist die Kraft- oder, wie sie hier heisst, Stromfläche. Fällt die isolirende Hülle fort, und setzt man die Leitungsfähigkeit der Plattenpaare gleich der des Wassers, so hören nicht bloss die früheren Polflächen auf, isoëlektrische Flächen zu sein, sondern auch der Mantel wird schräg von Stromcurven geschnitten. In diesem Sinne passt auf die Art, wie nach meinen Hypothesen im elektri-

[1] Vergl. Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 212. Anm. 1.

schen Organ, im elektrotonisirten Nerven, in der den Neigungsstrom erzeugenden Grenzschicht am schrägen Muskelquerschnitt (s. oben S. 117 ff.), ferner wie in innerlich polarisirten Leitern (s. oben Bd. I. S. 23) die Summirung der Elementarwirkungen geschieht, der in meinem 'Abriss' vorgeschlagene Name der unvollkommenen Säulenbildung.[1]

## [337] §. V. Nachahmung der Wirkungen zwischen verschiedenen Punkten der Länge des Zitteraales und Zitterwelses.

Hr. Faraday hat am Gymnotus gezeigt, 1. dass jeder Punkt des im Wasser befindlichen Fisches oder seiner nächsten Umgebung sich negativ verhält gegen jeden davor, und positiv gegen jeden dahinter am Fische gelegenen; 2. dass die Wirkungen um so kräftiger sind, je weiter auseinandergelegene Punkte man berührt; 3. dass sie verschwinden, wenn die abgeleiteten Punkte symmetrisch zur Axe des Fisches liegen.[2] Ranzi und ich wiesen dieselben Gesetze am Zitterwelse nach (s. oben S. 630).

Ich habe entsprechende Erscheinungen an der unter Wasser befindlichen Säule aus 24 Platinzinkplattenpaaren erhalten. Sie wurde, auf eine Leiste gekittet, zuerst wieder längs der einen langen Seite des Troges symmetrisch eingetaucht. Doch befanden sich diesmal die Ableitungsplatten nach dem Eintauchen ihr ganz nahe. Diese liessen zwischen sich einen beständigen Abstand von 25 mm. Welche Stellung ich ihnen auch längs der Säule gab, stets erfolgte beim Eintauchen ein Ausschlag in der Richtung, dass die dem Zinkende der Säule nähere Platte sich positiv gegen die andere verhielt (Bogen 2, 3, 4 Fig. 8).

Als die Ableitungsplatten symmetrisch zur Mitte der Säule standen, und ihr Abstand

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1, | 2, | 3, | 4 cm | betrug, erfolgten |
| 31·5, | 69·0, | $90+x$, | $90+X^0$ | Ausschlag |

im Mittel aus zwei Versuchen. Die stärkste Wirkung trat ein, wenn die Ableitungsplatten eine Verlängerung der Säule vorstellten (Bogen 5). Die Wirkung wurde schon ansehnlich schwächer, wenn ich die Platten aus dieser Lage in ihrer Ebene um ihre Breite verschob (Bogen 6).

[338] Wurde die Säule so versenkt, dass ihre Axe mit der des Troges, und ihre Mitte mit dessen Mitte zusammenfiel, während die Ableitungsplatten, in derselben Querebene befindlich, die Säule zwischen sich fassten, so war die Wirkung Null. War die Querebene zugleich die mittlere, so machte

[1] A. a. O. S. 30. §. 76. — Vergl. oben S. 626.

[2] Experimental Researches etc. London 1844. vol. II. p. 6. 9—11. §. 1764. 1773—1781.

es keinen Unterschied, ob die eine Platte sich der Säule näher befand, als die andere.

Diese Versuche zeigen, dass aus den darin nachgeahmten Erscheinungen für die im vorigen Paragraphen entwickelte Lehre kein Hinderniss erwächst. Bei grösserer Vollkommenheit einerseits der Versuche an den Zitterfischen selber, andererseits der schematischen Versuche und der Theorie böte sich so Gelegenheit zu einem neuen Beweise dafür, dass die Seiten des Organes nicht isolirt sind. Denn wenn ich mich auch irrte, als ich im 'vorläufigen Abriss' sagte, bei seitlich isolirtem Organe bliebe ein Theil der hier besprochenen Erscheinungen unerklärt,[1] so würde doch alsdann die Stärke des Zweigstromes eine andere Function der Stellung der Ableitungsplatten sein. An ein Vergleichen der Stärke des Zweigstromes bei verschiedener Stellung der Ableitungsplatten am lebenden Fisch mit der, welche sie gemäss der Theorie und dem schematischen Versuche bei isolirtem und bei nicht isolirtem Organe sein sollte, ist aber um so weniger zu denken, als schwerlich alle Querschnitte des Organes gleiche elektromotorische Kraft haben. Hr. DE LA RIVE giebt zwar an, dass der Schlag des Zitteraales, wenn seine ganze Länge in den Kreis des Multiplicators eingeschaltet ist, genau doppelt so stark ausfalle, als wenn nur die vordere oder hintere Hälfte sich darin befinde (s. oben S. 630), doch ist dies wohl nur eine Ausdrucksweise dafür, dass keine augenfällige Abweichung von dem angegebenen Verhältniss bemerkt wurde. Beim Zitterwels übertrifft, wie ich zeigte, die vordere Hälfte des Organes die hintere sehr beträchtlich an Wirksamkeit, ein Umstand, auf den ich anderswo zurückzukommen gedenke.[2]

## [339] §. VI. Erklärung und Nachahmung der COLLADON-schen Ströme am Zitterrochen.

COLLADON'sche Ströme nenne ich die von diesem Forscher am Zitterrochen zwischen asymmetrischen Punkten des Rückens oder des Bauches 1831 entdeckten Ströme. Keinen Strom erhält man nach Hrn. COLLADON nur, wenn man symmetrische Punkte des Rückens oder des Bauches berührt. Jeder den Organen nähere Punkt verhält sich am Rücken positiv, am Bauche negativ gegen jeden entfernteren.[3]

Hr. MATTEUCCI, der kurz zuvor das Dasein solcher Ströme ausdrück-

---

1 A. a. O. S. 27. §. 70.

2 Vergl. oben S. 630—636, wo die Annahme verschiedener Kraft beider Hälften aufgegeben, und die Erscheinung auf deren verschiedenen Widerstand zurückgeführt ist.

3 S. an den oben S. 671 Anm. 2 angeführten Stellen.

lich geläugnet hatte,[1] berichtete das Jahr darauf, jedoch ohne sich auf Hrn. COLLADON zu beziehen, dass die Punkte des Organes über den Eintrittsstellen der Nerven am Rücken positiv, am Bauche negativ gegen die übrigen seien.[2] Vermuthlich schwebte ihm bei dieser Auffassung der COLLADON'schen Ströme jene falsche, von GALVANI[3] und RITTER[4] ausgegangene, von Hrn. BECQUEREL d. V. wieder aufgenommene[5] Theorie vor, die er sich damals angeeignet hatte, dass die Elektricität der Zitterfische ihrem Gehirn entspringe;[6] da sonst [340] nicht zu verstehen ist, wie den Eintrittsstellen der Nerven eine besondere Bedeutung in elektromotorischer Hinsicht zukommen sollte.

Auch Hr. ZANTEDESCHI scheint von der nämlichen Meinung beherrscht gewesen zu sein, denn er bezeichnet die dem Gehirn nächsten Punkte des Rückens und Bauches beziehlich als die positivsten und negativsten.[7]

Es genügt indess, einen senkrecht auf die Medianebene durch die Organe des Zitterrochen geführten Schnitt zu betrachten, um sogleich den Gedanken zu fassen, den ich in meinem 'vorläufigen Abriss' aussprach, dass die COLLADON'schen Ströme von der verschiedenen Höhe der

---

[1] Comptes rendus etc. 11 Juillet 1836. t. III. p. 49.

[2] Comptes rendus etc. 2 Octobre 1837. t. V. p. 502.

[3] Memorie sulla Elettricità animale ec. al celebre Abate LAZZARO SPALLANZANI ec. Bologna 1797. 4⁰. p. 66. 67.

[4] Beiträge zur nähern Kenntniss des Galvanismus u. s. w. Bd. II. St. 3. 4. 1805. S. 243. Anm.; — vergl. oben S. 669.

[5] Traité expérimental de l'Électricité et du Magnétisme. t. IV. Paris 1836. p. 289. 290.

[6] Comptes rendus etc. 3 Octobre 1836. t. III. p. 430; — Ibid., 2 Octobre 1837. t. V. p. 501; — Annales de Chimie et de Physique. Décembre 1837. t. LXVI. p. 426. 427; — Bibliothèque universelle etc. Nouvelle Série. Novembre 1837. t. XVII. p. 378. An den beiden letzten Stellen sagt Hr. MATTEUCCI wörtlich: „*L'élément nécessaire à la décharge électrique de la torpille . . . est produit par le* „*dernier lobe du cerveau, et transmis par les nerfs dans la substance de l'organe.* „*. . . Ce n'est pas dans l'organe et par l'organe que cet élément est préparé . . .* „*Cet élément, que je regarde comme analogue au courant électrique, et comme le* „*courant électrique lui-même, a besoin, pour fonctionner, d'une disposition moléculaire dans les nerfs etc.*" — JOH. MÜLLER hat diese Lehre des Hrn. MATTEUCCI widerlegt im Handbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. 3. Aufl. 1838. S. 69. Neuerlich hat Hr. ARMAND MOREAU Versuche zu demselben Zwecke beschrieben (Annales des Sciences naturelles. 4$^{me}$ Sér. 1862. t. XVIII. p. 6). Darauf erwiederte Hr. MATTEUCCI (den doch Hr. MOREAU gar nicht einmal genannt hatte): „*Je sens la nécessité de rétablir la vérité historique . . . . Jamais ni moi, ni aucun autre, n'a* „*dit que l'électricité se produit dans le cerveau*" (Archives des Sciences physiques et naturelles. Nouvelle Série. t. XV. 1862. p. 41).

[7] Comptes rendus etc. 28 Mars 1842. t. XIV. p. 488; — 30 Mai. p. 839.

Säulen herrühren, aus denen die Organe zusammengesetzt sind.[1] Das positive Ende einer höheren, d. h. aus mehr Gliedern bestehenden Säule verhält sich positiv, das negative negativ gegen das gleichnamige Ende einer minder hohen Säule. Da nun die Säulen des Zitterrochen vom inneren Rande des Organes, wo die Nerven eintreten, nach dem Umfange der Scheibe hin um etwa die Hälfte niedriger werden, so folgt nothwendig das von Hrn. Colladon entdeckte Verhalten.

Hr. Matteucci hat denn auch seitdem, jedoch ohne sich auf mich zu beziehen, seine Ausdrucksweise in Betreff dieses Gegenstandes allmählich abgeändert. Zuerst heisst es nur, der Strom sei stets von dem der Medianlinie näheren Punkt zu dem davon entfernteren gerichtet,[2] wobei nicht bemerkt wird, dass [341] dies nur am Rücken gilt, und dass am Bauche das Verhalten umgekehrt ist. In späteren Schriften aber lässt Hr. Matteucci den Strom am Rücken von den dickeren zu den dünneren Stellen gehen.[3] An den dickeren Stellen ist übrigens nach ihm der Strom zwischen den beiden Flächen stärker als an den dünneren.[4]

Ich meinestheils habe mich von der Richtigkeit meines Schlusses seitdem durch den Versuch überzeugt. Auf ein Brettchen kittete ich nebeneinander vier Säulen von abnehmender Höhe, wie Fig. 9 zeigt. Die Zahl der Glieder in den vier Säulen war 10, 7, 5 und 2; zwischen den Säulen blieb $2 \cdot 5^{\mathrm{mm}}$ Abstand. Diese Vorrichtung, in Wasser getaucht, entsprach also im Wesentlichen einer durch zwei parallele, senkrecht auf die Medianebene geführte Schnitte begrenzten Scheibe aus dem einen Organe des Zitterrochen. Befanden sich die Ableitungsplatten zu beiden Seiten der Vorrichtung, so verhielt sich die an der Zink- oder Rückenfläche *R* positiv gegen die an der Platin- oder Bauchfläche *B* (Bogen 1 in der Figur). Der Strom war stärker, wenn die Platten die hohen, als wenn sie die niedrigen Säulen zwischen sich fassten. Befanden sich die Platten auf einer Seite des künstlichen Organes, so war die den höheren Säulen nähere die positive oder negative, je nachdem es um Rücken oder Bauch sich handelte (Bogen 2, 3). Zwar unterscheidet sich unsere Anordnung von der natürlichen am Zitterrochen insofern, als der Fisch sich

---

1 A. a. O. S. 27. §. 71.

2 Leçons sur les Phénomènes physiques des Corps vivants. Paris 1847. p. 194.

3 Lezioni di Elettro-Fisiologia. Corso dato nell' Università di Pisa nell' anno 1856. Torino 1856. p. 7.

4 Comptes rendus etc. 17 Août 1846. t. XXIII. p. 357. 358. — Archives des Sciences physiques et naturelles. 1846. t. II. p. 401. — Annales de Chimie et de Physique. 1847. 3me Sér. t. XXI. p. 167; — Philosophical Transactions etc. For the Year 1847. P. II. p. 240; — Corso di Elettro-Fisiologia in sei Lezioni date in Torino ec. Torino 1861. p. 118.

an der Luft befand, doch kann dies von keinem Einfluss auf das Ergebniss sein. Und damit scheint die Angelegenheit erledigt; allein die folgenden Versuche lehren, dass wir ihr noch nicht ganz auf den Grund gegangen sind.

In einen mit Brunnenwasser gefüllten Trog von angemessener Grösse tauchte ich ein zusammengelöthetes Zinkkupfer- [342] plattenpaar in Gestalt eines Rechteckes von 210 mm Länge und 30 mm Breite den verschiedentlich aufgestellten Ableitungsplatten gegenüber ein, wie es bisher mit den zu Säulen verbundenen quadratischen Zinkplatinplattenpaaren geschah. Standen die Ableitungsplatten zu beiden Seiten des Erregerpaares, so verhielt sich natürlich die am Zink positiv gegen die am Kupfer (Bogen 1 Figur 10). Standen die Platten gegenüber der nämlichen Seite, so blieb das Eintauchen wirkungslos nur, wenn die Platten sich symmetrisch zur Mitte befanden (Bogen 0). Im anderen Falle verhielt sich am Zink die der Mitte, am Kupfer die dem Ende oder der Zinkkupfergrenze $g_{,}$, $g'$ nähere Platte positiv gegen die andere (Bogen 2, 3), und der Strom war um so stärker, je grösser der Abstand der Ableitungsplatten, und je näher, bei gleichem Abstand, die Platten sich der Grenze befanden. Den stärksten Strom der Art lieferte die Verbindung eines Punktes gegenüber der Mitte mit einem solchen in der Nähe der Grenze; die Stromstärke wuchs noch, wenn die Ableitungsplatten das Erregerpaar zwischen sich nahmen. Mit anderen Worten, die Ströme vor dem Zink befolgten im Wesentlichen dasselbe Gesetz, wie die schwachen Ströme des Muskel-Längsschnittes, die vor dem Kupfer dasselbe wie die schwachen Ströme des Querschnittes. Diese Ergebnisse sind nicht neu; ich habe sie schon in meinem Werk in der Untersuchung über die 'flachen Erregerpaare' beschrieben, von denen die gegenwärtige Anordnung in der That nur ein besonderer Fall ist. Ausser der Theorie der Erscheinung im Allgemeinen findet man dort den Grund eines sehr auffallenden Umstandes, der bei diesen Versuchen hervortritt, uns aber hier nichts angeht, der grösseren Stärke nämlich, welche die Ströme vor dem Kupfer im Vergleich zu denen vor dem Zink zeigen.[1]

Ersetzt man das lange Erregerpaar durch eine Reihe kürzerer, welche in derselben Ebene befindlich, Lücken zwischen sich lassen, z. B. durch eine Anzahl der vorher angewendeten Zinkplatinplattenpaare, so bleibt im Wesentlichen die Wirkung unverändert. Man kann auch, noch immer mit dem gleichen Erfolge, Säulen an Stelle der einzelnen kürzeren Erregerpaare [343] setzen. Die 24 Zinkplatinplattenpaare brachte ich in sechs nebeneinander befindlichen viergliederigen Säulen so an, dass die

---

[1] A. a. O. Bd. I. S. 596—618.

entsprechenden Platten der sechs Säulen in denselben Ebenen lagen, und die Enden der Säulen eine gemeinschaftliche Zink- und Platinfront darboten (s. Fig. 11, wo aber nur 16 Plattenpaare abgebildet sind). Der Abstand der Säulen von einander betrug wieder 2·5 mm. Es zeigte sich, bei derselben Versuchsweise wie vorher, ein Strom vor der Zinkfront von der Mitte zu den Enden, vor der Platinfront von den Enden zur Mitte, und nur bei symmetrischer Stellung der Ableitungsplatten war vor beiden Fronten der Strom Null.

Der Strom entsteht hier ähnlich wie, nach der Molecularhypothese, die schwachen Ströme am Längs- und Querschnitt des Muskels. Man denke sich jedes der nebeneinander in Einer Flucht aufgestellten Plattenpaare, beziehlich jede Säule von einem rechteckig prismatischen Hof feuchten Leiters symmetrisch umgeben, wie die punktirten Linien in Fig. 11 es andeuten. Dann stossen, beim Zusammenfügen der Prismen, Curven von gleichem Potential aufeinander, und es entsteht kein gemeinsamer Strom vor der Front der Anordnung. Ableitungsplatten, dieser Front parallel davor aufgestellt, deren Breite die der einzelnen Plattenpaare vielmals überträfe, würden in jeder Stellung sich gleichartig verhalten. Wenn aber, wie in unserer Vorrichtung, der feuchte Leiter über die beiden Enden der Front hinaus sich erstreckt, so entsteht vor der Front ein Gesammtstrom, von dem durch die Ableitungsplatten ein Zweig in den sie verbindenden Bogen übergeht (s. oben S. 111).

Die letztbeschriebene Vorrichtung kann für das Schema eines Zitterrochenorganes gelten, in welchem alle Säulen gleich hoch wären. Es würden also auch bei gleicher Höhe der Säulen in solchem Organe Ströme zwischen verschiedenen Punkten seiner Rücken- und Bauchfläche stattfinden. Nennen wir den positivsten und den negativsten Punkt dieser Flächen die Pole des Organes, so müssten diese Pole nicht am inneren Rande, sondern in der Mitte der betreffenden Flächen liegen. Dass sie in [344] Wirklichkeit medianwärts verschoben sind, erklärt sich aus der nach dorthin zunehmenden Höhe der Säulen. Doch wird sich zeigen, dass dies nicht die einzige in diesem Sinne wirksame Ursache ist. Wir haben jetzt nämlich noch zu untersuchen, wie etwa diese Ströme durch das Zusammenwirken der beiden Organe verändert werden.

Hierzu vertheilte ich die 24 Plattenpaare in zwei Gruppen, deren jede ein aus gleich hohen Säulen bestehendes Organ vorstellte. Jede Gruppe bestand aus zwei sechsgliederigen Säulen, zwischen denen wieder 2·5 mm Zwischenraum blieb. S. Fig. 12, wo indess die Zahl der Glieder kleiner ist. Die beiden Gruppen liessen zwischen sich eine Lücke von veränderlicher Breite. So lange die Lücke ein gewisses Maass nicht überschritt, brachte sie keinen Unterschied in der Wirkung hervor. War

sie breiter, z. B. wie in der Figur so breit wie die Gruppen selber, so nahm das Stromsystem eine scheinbar sehr verschiedene und verwickelte Beschaffenheit an. Jetzt verhielt sich die Mitte jedes Organes (um mich kurz so auszudrücken) positiv nicht allein gegen die nach aussen gelegenen Punkte, sondern auch gegen alle Punkte zwischen ihr und der Mitte des anderen Organes, am stärksten gegen die Medianebene; positiv ferner gegen die jenseit der Mitte des anderen Organes gelegenen Punkte. Punkte in der Umgebung der Medianebene verhielten sich negativ gegen Punkte in der Nähe des äusseren Randes jedes Organes. Ertheilte ich der einen Ableitungsplatte eine Stellung $a$ in der Nähe des äusseren Randes des einen Organes $A$, so fanden sich für die andere Platte drei Stellungen, wo der Strom verschwand, nämlich ausser der auf dem anderen Organe $B$ der ersteren symmetrischen $a'$, noch zwei symmetrisch zur Medianebene zwischen der Mitte eines jeden Organes und dessen innerem Rande gelegene $a''$, $a'''$; so dass es im Ganzen sechs Stellungen der Platten vor der gemeinschaftlichen Front der beiden Organe gab, in denen kein Strom erfolgte. Innerhalb gewisser Grenzen gelingen diese Wahrnehmungen bei um so kleinerer Breite der Lücke, je weniger Glieder die Säulen enthalten.

Sie erklären sich einfach, wenn man die Vertheilung der Spannungen (Potentialwerthe) vor der Fläche eines unserer Plattenpaare berücksichtigt. Tragen wir die Spannungen als Or- [345] dinaten auf eine der Ebene des Plattenpaares parallele Gerade $aa'$ auf, welche die Punkte enthält, um die es sich handelt, so kann die entsprechende Curve nicht viel anders aussehen, als die ausgezogene Curve $ss'$ in Fig. 13, wo die punktirten Curven die Curven gleichen Potentiales sind, $m$ die Mitte des Plattenpaares, $g$ die Zinkkupfergrenze vorstellt. Bei Verbindung zweier Punkte der Abscissenaxe durch einen Bogen geht der Strom im Bogen von dem Punkt, dem die grössere, zu dem, welchem die kleinere Ordinate entspricht, und der Unterschied der Ordinaten misst bei gleichem Widerstand die Stärke des Stromes. In Fig. 12 ist die ausgezogene Curve die Resultirende aus den punktirten Curven der vier Säulen. Wie hieraus die obigen Ergebnisse fliessen, bedarf nicht der Ausführung.

Man erkennt zugleich, dass durch das Zusammenwirken der beiden Organe der Pol eines jeden Organes etwas medianwärts rücken muss, um so weniger freilich, je breiter die Lücke. Im Versuche war dies auch bei schmaler Lücke schwer nachzuweisen, weil überhaupt in Folge ungleicher Wirksamkeit der verschiedenen Plattenpaare die Lage der Pole schwankte; am Zitterrochen aber ist die Lücke zwischen den Organen, wie in Fig. 12, so breit wie jedes Organ, daher der Einfluss, den das Zusammenwirken der Organe auf die Lage der Pole übt, nicht gross sein mag.

Die Colladon'schen Ströme zwischen verschiedenen Punkten des Rückens und Bauches des Zitterrochen sind damit, soweit die Beobachtung reicht, vollkommen erklärt, ja auf einen doppelten Grund zurückgeführt. Wir sind aber sogar im Stande, mit grosser Bestimmtheit zu behaupten, dass die Beobachtung selber noch lückenhaft ist. Es lässt sich vorhersagen, dass man mit hinreichend feinen Mitteln Ströme am Rücken vom inneren Rand der Organe nach der Medianebene, am Bauch im entgegengesetzten Sinne finden wird. Genau genommen ist das Dasein dieser Ströme in der von Hrn. Colladon, und in der ersten von Hrn. Matteucci gegebenen Bestimmung (s. oben S. 685) bereits angedeutet. Denn wenn in der ersten die dem Organ näheren Punkte am Rücken positiv, am Bauch negativ gegen die davon entfernteren heissen, und wenn nach der zweiten die Stellen über und unter dem Nerveneintritt die [346] Pole sind, so müssen in beiden Fällen folgerichtig die Punkte der Medianebene sich am Rücken negativ, am Bauch positiv gegen den inneren Rand der Organe verhalten. In Hrn. Matteucci's späteren Aussagen (s. oben S. 686) werden alle der Medianebene näheren Punkte als positiv gegen alle davon entfernteren bezeichnet, was ebenso seiner früheren Angabe, wie der Theorie, widerspricht, und somit schliesslich zur erneuten Prüfung des Sachverhaltes am Zitterrochen selber auffordert.

### §. VII. Nachahmung des *Experimentum crucis* des Hrn. Matteucci am Zitterrochen, und Widerlegung des von ihm daraus gezogenen Schlusses.

Hr. Matteucci spaltete das eine Organ eines lebenden Zitterrochen senkrecht auf die Axe der Säulen, und brachte in den Spalt eine Glasplatte, so dass die beiden Abschnitte des Organes dadurch von einander getrennt wurden. Gleichviel wie er nun die beiden natürlichen Flächen am Rücken und Bauch und die beiden künstlichen Flächen mit dem Multiplicator verband, stets erhielt er beim Schlage den Strom in der gewöhnlichen Richtung, nämlich so, dass die dem Rücken nähere Platte sich positiv gegen die dem Bauche nähere verhielt. Dabei erhellt nicht klar, ob das Organ in seiner ganzen Ausdehnung in eine obere und in eine untere Hälfte getrennt, oder ob es nur seitlich eingeschnitten war. Doch ist aus mehreren Gründen Letzteres wahrscheinlich.

Auf Grund dieses Versuches behauptete Hr. Matteucci die Unmöglichkeit eines Vergleiches zwischen der Säule und dem elektrischen Organe; „denn“, sagt er, „wo man auch eine Säule unterbreche, erzeugt „man zwei neue Pole: das mit dem positiven Pol verbundene Ende wird

„ein negativer, das mit dem negativen Pol verbundene ein positiver Pol“,[1] wovon hier das Gegentheil eintreffe. Erst nachdem ich im Jahr 1843 die entgegengesetzte Ansicht ausgesprochen, und in Bezug auf jenen Versuch ohne weitere Erläuterung bemerkt hatte, „er [347] enthalte nichts, „was nicht nach der hier gegebenen Theorie der Fall sein müsste“,[2] erklärte auch Hr. MATTEUCCI, dass das Organ einer Säule zu vergleichen sei;[3] ohne sich auf mich zu beziehen, und ohne zu sagen, wie er denn jetzt über die aus seinem Versuch erwachsenden Schwierigkeiten hinwegkomme.

Diese angeblichen Schwierigkeiten will ich jetzt heben. Es versteht sich, dass hier nur die Rede sein kann von der Verbindung der oberen mit der unteren künstlichen Fläche. Dass die obere und untere Hälfte des Organes noch im richtigen Sinne schlugen, kann nicht Wunder nehmen, und dass zwischen dem Rücken und dem Bauche, dem Rücken und der unteren künstlichen Fläche, endlich dem Bauch und der oberen künstlichen Fläche der Schlag richtig erfolgte, versteht sich ebenso von selber. Sodann ist, wie ich schon im 'Vorläufigen Abriss' bemerkte, vorauszusetzen, dass Hr. MATTEUCCI, wie er bei solchen Versuchen zu thun pflegte, das andere Organ mittels Durchschneidung seiner Nerven gelähmt hatte. Sonst hätte er zwischen den beiden künstlichen Flächen den Schlag dieses Organes gehabt.

Um die Verhältnisse, welche hier in Betracht kommen, sicherer zu übersehen, ist es nöthig, dass wir uns zuerst mit dem Fall einer unterbrochenen Säule beschäftigen. Trennt man zwei Plattenpaare einer untergetauchten Säule durch eine Lücke, und bringt man in diese Lücke die Ableitungsplatten, so erhält man stets einen Strom in der Richtung des Stromes in der Säule selber, d. h. die an das Zink der Lücke grenzende Platte verhält sich positiv gegen die dem Platin benachbarte (s. Fig. 14). Der Strom ist am stärksten, wenn die Lücke sich in der Mitte der Säule befindet, er wird am schwächsten jenseit der beiden äussersten Plattenpaare, wie folgende Versuche mit einer neungliederigen Säule lehren, wobei die Ableitungsplatten $30^{mm}$ von einander entfernt waren.

| | | |
|---|---|---|
| | Ableitungsplatten jenseit des Zinkendes . . . . . . . | : $17 \cdot 3^{0}$ |
| [348] | „ zwischen 1. und 2. Paar . . . . . . | : $26 \cdot 3$ |
| | „ „ 2. „ 3. „ . . . . . . | : $35 \cdot 6$ |

[1] Archives de l'Électricité. 1841. t. I. p. 573; — 1843. t. III. p. 157. 158.

[2] A. a. O. S. 29. §. 72.

[3] Comptes rendus etc. 1845. t. XXI. p. 576. 577; — Archives de l'Électricité. 1845. t. V. p. 494; — Annales de Chimie et de Physique. 1847. 3me Série. t. XXI. p. 164.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ableitungsplatten zwischen | 3. und 4. Paar | . . . . . . | : 34·1° |
| „ „ | 4. „ 5. „ | . . . . . . | : 29·8 |
| „ „ | 5. „ 6. „ | . . . . . . | : 33·3 |
| „ „ | 6. „ 7. „ | . . . . . . | : 27·2 |
| „ „ | 7. „ 8. „ | . . . . . . | : 24·5 |
| „ „ | 8. „ 9. „ | . . . . . . | : 15·3 |
| „ | jenseit des Platinendes | . . . . . . | : 13·9 |

Die Zahlen sind das Mittel aus drei Beobachtungen. Ist die Lücke grösser als der beständige Abstand der Ableitungsplatten, die Gliederanzahl zu beiden Seiten der Lücke aber ungleich, so fällt der Strom stärker aus, wenn die Ableitungsplatten dem grösseren Abschnitte näher sind, schwächer im entgegengesetzten Falle. Wird endlich zwischen die Ableitungsplatten eine Glasplatte (*GP* in der Figur) oder ein gefirnisster hölzerner Klotz gebracht, so wächst die Stromstärke im Multiplicator.

Denkt man sich also das Organ in seiner ganzen Ausdehnung in eine obere und in eine untere Hälfte getrennt, welche nur noch durch den übrigen Körper des Thieres zusammenhängen, so wird Hrn. Matteucci's Beobachtung in der That unverständlich. Alsdann käme dem Strome die entgegengesetzte Richtung von der zu, die er wirklich zeigte. War dagegen das Organ nur seitlich eingeschnitten, so bedeutet Hrn. Matteucci's Erfolg nichts, als dass der von den ungetrennten Theilen des Organes ausgehende Schlag den Schlag übertraf, der von den zerschnittenen Theilen ausging. Nichts ist leichter, als dies mit unseren schematischen Vorrichtungen nachzuahmen, indem neben die unterbrochene Säule, mit der wir eben experimentirten, noch eine zusammenhängende gebracht wird (Fig. 15). Indem man die Gliederzahl der einen vermehrt, der anderen vermindert, kann man natürlich stets ersterer die Oberhand verschaffen, d. h. nach Belieben den von Hrn. Matteucci beschriebenen oder den entgegengesetzten Erfolg beobachten. Zwischen diesen beiden äussersten Fällen liegt ein mittlerer, worin man bald die eine, bald die andere Wirkung vorwiegen sieht. Auffallend war dabei in meinen Versuchen, dass die beiden ein- [349] ander bekämpfenden Ströme, der Strom der zusammenhängenden und der Strom der unterbrochenen Säule, verschiedenen zeitlichen Verlauf hatten, und zwar sank letzterer schneller als ersterer. Dies sprach sich darin aus, dass, wenn beide Ströme der Gleichheit nahe waren, erst ein Ausschlag im Sinne der unterbrochenen Säule geschah, welchem auf dem Fuss einer im Sinne der zusammenhängenden Säule folgte. Der Grund dieser Erscheinung ist mir nicht deutlich; da sie aber zweifellos auf Polarisation beruhte, so ist sie für unseren gegenwärtigen Zweck gleichgültig.

Am Zitterrochen giebt es zwei Umstände, wodurch der zusammen-

hängenden Säule, d. h. dem noch ungetrennten Theile des Organes, die Ueberlegenheit über die unterbrochene Säule, d. h. dessen gespaltenen Theile gesichert wird. Erstens liegt es in der Natur der Dinge, dass letzterer durch die Spaltung selber in seiner Wirksamkeit beeinträchtigt ist. Zweitens gehört er nothwendig dem Rande des Organes an, so dass seine Elemente nicht allein weniger wirksam, sondern auch minder zahlreich sind, als die des anderen Theiles.

Um nichts unversucht zu lassen, stellte ich noch eine Anordnung her, welche den natürlichen Verhältnissen etwas näher kam, als die zuletzt beschriebene. Wie bei den Versuchen über die COLLADON'schen Ströme wurden vier Säulen von abnehmender Höhe, nämlich folgweise von 9, 7, 5 und 3 Gliedern, nebeneinander aufgestellt. Die beiden letzten Säulen waren durch eine sich seitlich in sie hinein erstreckende Lücke unterbrochen, in der sich, durch eine Glasplatte getrennt, die Ableitungsplatten befanden (Fig. 16). Stets flog beim Eintauchen der Säule die Nadel an die Hemmung im Sinne der zusammenhängenden und gliederreicheren Säulen. Wurden diese beseitigt, so trat die schwächere und verkehrte Wirkung der unterbrochenen Säulen hervor.

Durch diese Versuche ist meine Behauptung im 'Vorläufigen Abriss', Hrn. MATTEUCCI's vermeintliches *Experimentum crucis* folge aus meiner Theorie, gewiss völlig gerechtfertigt.

## [350] §. VIII. Vom Schlage des gekrümmten Gymnotus.

Hr. FARADAY sah einmal, dass der Gymnotus, um einen Fisch zu erschlagen, in einer Spirale sich krümmte, von welcher der Fisch einen Durchmesser einnahm. Er fügt hinzu: „Es hatte in diesem Falle ganz „den Anschein, als geschehe das Herumwinden des Zitteraales um seine „Beute absichtlich, um den Schlag zu verstärken, und mit Hinblick auf „die wohlbekannten Gesetze der Entladung von Strömen in Massen lei„tender Materie ist sichtlich das Verfahren vortrefflich dazu geeignet. „Obschon der Fisch diesen Kunstgriff nicht jederzeit in Anwendung „bringen mag, ist doch sehr wahrscheinlich, dass er sich des dadurch „erlangten Vortheiles bewusst ist, und im Falle der Noth seine Zu„flucht zu ihm nimmt“.[1]

Wenn der Gymnotus einen Kreis um sein Opfer schliesst, so hat dies möglicherweise nur zum Zweck es am Entweichen zu verhindern; vielleicht aber auch, wie Hr. FARADAY zu glauben geneigt ist, die Wir-

---

[1] L. c. p. 13. §. 1785.

kung auf das Opfer zu verstärken. Um letztere Meinung zu stützen, müsste man zunächst zeigen, dass wirklich durch die beschriebene Anordnung die Wirkung verstärkt werde, was nicht so in die Augen springt, und auch nicht so unbedingt der Fall ist, wie Hr. Faraday meint.

Von einer spiraligen Krümmung des Gymnotus wird dabei abzusehen sein; da die Länge der Organe nur etwa 0·8 von der des Fisches beträgt, so entsteht der Anschein einer spiraligen Krümmung, sobald der Fisch die Enden des Organes einander nähert.

Die Wirkung des gekrümmten Gymnotus lässt sich vorläufig mit Schärfe angeben nur, wenn man den Querschnitt des Organes, nebst allen Leitungsunterschieden und der Induction, vernachlässigt, und das leitende Mittel als unbegrenzt annimmt. Alsdann wird der Fisch seine Wirkung auf einen äusseren Punkt allerdings dadurch verstärken, dass er die Enden des Organes einander nähert, aber das Opfer muss sich nicht in einem Durchmesser der Curve befinden, sondern in der ihre Enden verbindenden Geraden, und wenn man sich einen auf [351] diese Gerade oder deren Verlängerung senkrechten Kreis denkt, durch dessen Mittelpunkt die Gerade geht, so werden alle Punkte dieses Kreises eine gleich starke Wirkung erfahren, d. h. ein Punkt im Inneren des vom Fisch gebildeten Ringes wird nicht stärker getroffen, als ein symmetrisch zur Verbindungslinie der Pole ausserhalb gelegener Punkt.

Bei endlichem Querschnitt kann man sich das Organ der Länge nach in unendlich viel unendlich dünne Fäden zerlegt denken, auf deren jeden obige Schlussfolge passt. Da auf der concaven Seite des Ringes der Abstand der Endflächen des Organes kleiner ist als auf der convexen, wird der Strom dort allerdings etwas dichter sein als hier, und ein innerer Punkt wird einer etwas stärkeren Wirkung unterliegen als ein symmetrischer äusserer Punkt. Doch sieht man nicht, wie ein Durchmesser des Ringes der Sitz einer besonders starken Wirkung sein sollte. Um mir eine Anschauung des hier stattfindenden Systemes von Stromcurven zu verschaffen (s. oben S. 677), liess ich einen runden 19 mm dicken Stab aus weichem Eisen so biegen, dass seine Axe einen Kreis von 83 mm Durchmesser bildete, der in einer Sehne von 17·5 mm offen blieb. Den Stab bewickelte ich mit 400 Windungen eines 0·75 mm dicken Kupferdrahtes, stellte ihn wagerecht auf, und elektromagnetisirte ihn mittels zweier Grove. In die Ebene seiner Axe brachte ich einen Bogen Kartenpappe, worin seine Figur ausgeschnitten war, und bestreute den Bogen mit Eisenfeilicht. Der lehrreiche Anblick der sich ausprägenden Magnetkraftlinien bestätigte die obige Meinung. Die Sache läuft also wohl darauf hinaus, dass der Gymnotus das Opfer zwischen die einander

genäherten Enden seines Organes zu bringen sucht, dass er aber, da ihm dies begreiflich nicht sicher gelingt, die Stellung des Opfers innerhalb der ausserhalb des Ringes vorzieht, nicht weil der Durchmesser des Ringes eine besondere Rolle spielt, sondern weil er so des Opfers gewisser ist.

Bei seitlich isolirtem Organe würde allerdings das Innere des Ringes mehr vor dem Aeusseren bevorzugt sein, sofern der Körper des Fisches als isolirender Schirm die Strömung auf der concaven Seite des Ringes vor der Ausbreitung in den jen- [352] seitigen Raum schützte. Doch kann dies keinen Grund abgeben, eine isolirende Hülle um das Organ anzunehmen.

Ich versuchte, die Wirkung einer untergetauchten Säule auf den stromprüfenden Froschschenkel (s. oben S. 680) durch Biegen der Säule zu verstärken. Es gelang aber nicht, eine krümmbare Säule herzustellen, und beim Vergleichen der Wirkungen einer gekrümmten und einer geraden Säule aus gleich viel Gliedern kamen so viel Zufälligkeiten in's Spiel, dass damit auch nichts anzufangen war.

## §. IX. Nachahmung des Versuches von Humboldt's und Gay-Lussac's.

Von Humboldt und Gay-Lussac haben gezeigt, dass man einen Zitterrochen ungestraft zwischen zwei metallischen Schüsseln halten könne, vorausgesetzt, die Schüsseln berühren einander irgendwo am Rande.[1] Es ist leicht, einen entsprechenden Versuch an den untergetauchten Säulen anzustellen. In der That reicht es aus, um jede Wirkung der Säule nach aussen abzuschneiden, diese mit einem auf die hohe Kante gestellten, zu einer geschlossenen Curve gebogenen Blechstreife zu umgeben.

## §. X. Teleologische Betrachtungen über die Schuppenlosigkeit der elektrischen Fische und über die Gestalt der verschiedenen elektrischen Organe.

Der zuletzt beschriebene Versuch war ursprünglich zur Erläuterung der von mir in meinem 'Vorläufigen Abriss'[2] geäusserten Vermuthung bestimmt, die sämmtlichen bisher bekannt gewordenen Zitterfische möchten, teleologisch gesprochen, deshalb schuppenlos sein, weil die Schuppen zu gut geleitet hätten. Jetzt, wo wir Grund haben, anzunehmen,

[1] S. oben S. 382; — vergl. Recueil d'Observations de Zoologie etc. p. 75. 76.

[2] A. a. O. S. 29. §. 73.

dass die Knochenkerne der Schuppen jedenfalls nicht besser, eher schlechter leiten, als andere thierische Gewebe, kann von jener Vermuthung nicht mehr die Rede sein.[1] Man könnte umgekehrt eher glauben, [353] dass die Schuppen durch ihren Widerstand geschadet hätten. Es lässt sich aber ausserdem noch sagen, dass Fische, mit einer Schutz- und Angriffswaffe gleich dem elektrischen Organe versehen, keines Schuppenpanzers bedurften. Vielleicht wäre auch dadurch die Reizbarkeit der Haut, welche bei den elektromotorischen Fischen sehr gross ist und durch Reflex zu ihrem elektromotorischen Vermögen in Beziehung steht, beeinträchtigt worden.

Erinnert man sich, dass der Zitteraal und Zitterwels Süsswasserfische sind, die Torpedineen dagegen die See bewohnen, deren Wasser, nach freilich unzulänglichen Bestimmungen von Cavendish[2] und Marianini[3], hundertmal besser leitet, als destillirtes Wasser: so ist es unmöglich, nicht mit diesem Umstand den so ausgesprochenen Unterschied zwischen den Organen der beiden ersteren, und denen der letzteren Fische in Verbindung zu bringen. Der Zitterwels und Zitteraal besitzen ein langgestrecktes Organ, von vergleichsweise kleinem Querschnitt, die Torpedineen nur ein kurzes, von vergleichsweise sehr grossem Querschnitt. Die grössere elektromotorische Kraft wenigstens des Zitteraales, im Vergleiche zum Zitterrochen, ist dabei ausser Frage. Dies ist aber gerade die Einrichtung, welche als die zweckmässigste erscheint mit Rücksicht darauf, dass der Strom der beiden ersteren Fische einen grossen, der des letzteren einen kleinen ausserwesentlichen Widerstand zu überwinden hat.[4]

---

Diese Skizze, zu deren Ausführung es mir, wie gesagt, inmitten wichtigerer Angelegenheiten an Musse gebricht, reicht, wenn ich nicht

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 190.

[2] Philosophical Transactions etc. 1776. p. 198.

[3] Annales de Chimie et de Physique. 1826. t. XXXIII. p. 152; — Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Physik. Bd. XIX. 1827. S. 298; — Fechner's Lehrbuch des Galvanismus und der Elektrochemie. Leipzig 1829. S. 236. Anm. 1.

[4] Hr. de la Rive hat schon versucht, zwischen dem Bau des Organes bei Gymnotus und bei Torpedo; und der verschiedenen Leitungsgüte des See- und süssen Wassers, eine Beziehung aufzudecken. Dem Gymnotus schreibt er 96 Säulen von 4000 Gliedern und 50 Quadratmillimetern Querschnitt, dem Zitterrochen 940 Säulen von 2000 Gliedern und nur 7 Quadratmillimetern Querschnitt zu. Er sagt dann: „*La surface proportionellement plus grande et le nombre plus petit de diaphragmes* „*électriques dans le gymnote, comparativement à la torpille, ne proviendraient-ils* „*pas de la différence des deux milieux dans lesquels ils sont appelés à vivre, l'eau* „*douce moins conductrice pour le premier, l'eau salée plus conductrice pour le* „*second?*“ (Traité d'Électricité théorique et appliquée etc. t. III. Paris 1858. p. 77.

irre, doch schon aus, um die Natur der hier zu lösenden Aufgaben und die dazu führenden Wege zu zeigen, und um so die Grundlinien eines interessanten Kapitels der Elektrophysiologie festzustellen.

---

78. 80.) Hier scheint ein doppelter Irrthum obzuwalten. Es ist erstens klar, dass, wenn Gymnotus weniger, aber grössere Elemente hätte als Torpedo, nicht dieser Fisch, sondern jener mehr für die See geeignet wäre; und es ist zweitens klar, dass die Art, wie Hr. de la Rive die Zahl und Grösse der Elemente berechnet, unzulässig ist. Sieht man von der oben S. 672 erwähnten Möglichkeit ab, dass in einer elektrischen Platte mehrere Elemente hintereinander liegen, so ist die Zahl der Elemente gleich der Zahl der hintereinander, ihre Oberfläche gleich der Summe der Oberflächen der nebeneinander befindlichen Platten. Dann hat, mit Zugrundelegung der von Hrn. de la Rive benutzten Zahlen, das Gymnotus-Organ 4000 Platten von $96 \times 50 = 4800$, das Torpedo-Organ 2000 Platten von $940 \times 7 = 6580$ Quadratmillimetern Oberfläche, d. h. jenes ist grossen ausserwesentlichen Widerständen gewachsen, dieses mehr für kleine geeignet. Hr. Valentin zählt übrigens an den Säulen des Zitteraales etwa 5000, an denen des Zitterrochen durchschnittlich nur etwa 300 Platten (Handwörterbuch der Physiologie u. s. w. Bd. I. S. 254. 268), was unserer Ansicht noch günstiger ist.

XXXI.

# Experimentalkritik der Entladungshypothese über die Wirkung von Nerv auf Muskel.

(Gelesen in der Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 20. April 1874.)[1]

## §. I. Einleitung.

Hr. Meissner hatte bekanntlich über die elektrischen Erscheinungen, welche die Muskelzusammenziehung begleiten, eine Lehre aufgestellt, die der ursprünglichen, von mir herrührenden, in den wesentlichsten Stücken entgegengesetzt war. Der Ausgangspunkt dieser neuen Lehre war die von Hrn. Meissner entdeckte positive Schwankung, die der Strom des Froschgastroknemius oft bei Einzelzuckungen zeigt. Hr. Meissner glaubte sich überzeugt zu haben, dass diese positive Schwankung die Ursache der secundären Zuckung sei. Sie betrachtete er als die ächte elektrische Aeusserung des Muskels bei der Zusammenziehung. Die von mir beschriebene negative Schwankung dagegen war ihm nur eine Folge der Zusammendrückung des Muskels durch sich selber im Tetanus, und sie sollte die den Tetanus begleitende Reihe positiver Schwankungen verdecken. Der positiven Schwankung schrieb er den Charakter einer flüchtigen Entladung zu, und verglich sie dem Schlage der elektrischen Fische. Während am gereizten Muskel lebendige Kräfte theils als Wärme, und nur zu einem kleinen Theil als Elektricität zum Vorschein kommen, entwickele das gereizte elektrische Organ lebendige Kraft als Elektricität.

[520] Dieser letzte Theil der Meissner'schen Theorie erfuhr bald darauf durch Hrn. W. Krause eine wichtige Umgestaltung. Hr. Krause machte auf die Aehnlichkeit der Nervenendigung im Muskel mit Bilharz' elektrischer Platte im Organe von Malopterurus aufmerksam, und äusserte die Vermuthung, dass die Nervenendplatte als elektrische Platte

---

[1] Monatsberichte u. s. w. 1874. S. 519.

der contractilen Substanz einen elektrischen Schlag ertheile, welcher zugleich Ursache der Meissner'schen positiven Schwankung sei. Hr. W. Kühne sprach kurz darauf den nämlichen Gedanken aus, jedoch ohne Bezug auf die positive Schwankung (s. oben S. 442. 443).

Ich habe seitdem gezeigt, dass Hrn. Meissner's Deutung seiner positiven Schwankung und die ganze von ihm darauf gegründete Lehre unrichtig sind. Die positive Schwankung ist nichts als negative Schwankung des im Gastroknemius absteigenden Neigungsstromes des Kniespiegels. Die negative Schwankung ist nicht Folge der Zusammendrückung des Muskels durch sich selber, sondern behält die Bedeutung, die ich ihr ursprünglich beilegte (s. oben S. 445. 481. 482.)

Von Hrn. Meissner's Theorie der elektromotorischen Vorgänge bei der Zusammenziehung kann also nicht mehr die Rede sein. Dagegen verdient die von Hrn. Krause bei Gelegenheit dieser Theorie zuerst ausgesprochene und seitdem der Aufmerksamkeit der Physiologen nachdrücklich empfohlene[1] Vermuthung noch immer alle Beachtung, nach welcher die Nerven durch einen von der Nervenendplatte, als einer elektrischen Platte, ausgehenden Schlag die contractile Substanz zur Zusammenziehung reizen sollen; mit der Verwahrung freilich, dass dieser Schlag nicht zugleich für Ursache der positiven Schwankung und alleinigen Grund der secundären Zuckung gelte.

Der Vorgang bei mittelbarer Reizung des Muskels würde vielmehr folgender sein. Den Nerven herab käme eine Reizwelle, von negativer Schwankung des Nervenstromes begleitet. Auf unbekannte Weise, vielleicht durch die negative Schwankung selber, erzeugte sie in den Nervenendplatten einen kurz dauernden elektrischen Spannungsunterschied, wie in den elektrischen Platten. Die eine Fläche der Nervenendplatte, gleichgültig zunächst welche, würde zeitweise positiv, die andere negativ. Der dadurch bewirkte elektrische Schlag erregte die von ihm in hinlänglicher Dichte betroffene contractile Substanz, deren unmittelbare Erregbarkeit (Irritabilität) natürlich vorausgesetzt wird, und nun liefe der Vorgang der Erregung dieser Substanz ab, beginnend mit negativer Schwankung des Muskelstromes, der nach einiger Zeit die äusserlich wahrnehmbare Gestaltveränderung der Muskelfaser folgte. Tetanus entstände durch eine mehr oder minder dichtgedrängte Reihe solcher Schläge, mässige gleich stark anhaltende, oder der Stärke nach veränderliche Zusammenziehung durch passende Abstufung in Stärke und Häufigkeit der Schläge,

[1] Die motorischen Endplatten der quergestreiften Muskelfaser. Hannover 1869. S. 167 ff.

oder nach Hrn. Engelmann durch Erregung einer beschränkten, grösseren oder kleineren Zahl von Muskelfasern.[1]

Der Kürze halber soll diese Hypothese fortan die Entladungshypothese heissen. Die motorischen Nervenendplatten nenne ich einfach Endplatten, und bezeichne als deren Rückenfläche die der zugehörigen Muskelfaser abgewandte Fläche, in welche der Nerv tritt, als deren Sohlenfläche die der Faser zugewandte Fläche.[2]

Die Dazwischenkunft der Endplatte verbietet, an unmittelbare Fortsetzung eines unbekannten Molecularvorganges von der erregten Nervensubstanz auf die Muskelsubstanz zu denken. Von bekannten Naturprocessen, welche nun noch die Erregung vermitteln könnten, kommen, soviel ich sehe, in Frage nur zwei. Entweder müsste an der Grenze der contractilen Substanz eine reizende Secretion, [522] in Gestalt etwa einer dünnen Schicht von Ammoniak oder Milchsäure[3] oder einem anderen, den Muskel heftig erregenden Stoffe stattfinden. Oder die Wirkung müsste elektrisch sein. Hr. Krause behauptet bekanntlich, dass bei Wirbelthieren die Endplatte ausserhalb des Sarkolemms liege.[4] Dann bliebe gar kein Ausweg als elektrische Wirkung. Hr. Pflüger meint zwar, alle Nervenwirkung geschehe in Berührungsnähe.[5] Doch lässt er die Möglichkeit ausser Acht, dass es elektrische Nervenwirkungen gebe.

Je lockender aber die Entladungshypothese erscheint, und ein je grösserer Fortschritt ihre Bewahrheitung wäre, um so mehr ist geboten, sie mit voller Nüchternheit und zäher Skepsis auf jede Probe der Theorie und, wenn es angeht, des Versuches zu stellen. Meines Wissens hat dies noch Niemand unternommen. Ich halte es daher nicht für unnütz, wenn ich der wiederholt von der Histologie an die Physiologie gerichteten Aufforderung folgend es versuche, die zur Zeit erfindlichen Gründe für und wider die Entladungshypothese zusammenzustellen und gegeneinander abzuwägen.

Im Allgemeinen ist gegen diese Hypothese zu erinnern, dass sie unserem Begriff von der Zweckmässigkeit der organischen Natur widerspricht. Ausgehend von gewissen Erfahrungen der Elektrotherapeuten

---

1 Pflüger's Archiv für die gesammte Physiolgie u. s. w. 1873. Bd. VII. S. 187. 188.

2 Man kann nicht einfach Sohle sagen, was kürzer wäre, weil der Ausdruck Sohle schon für die sogenannte Protoplasmaschicht zwischen Endplatte und contractiler Substanz verbraucht ist.

3 Vergl. Roeber im Archiv für Anatomie u. s. w. 1870. S. 634.

4 A. a. O. S. 86. 91. 100. 105. 107. 108. 128 ff.

5 Die Endigungen der Absonderungsnerven in den Speicheldrüsen. Bonn 1866. S. 2. 3.

zeigte bekanntlich Hr. Brücke, dass durch Curara entnervte Muskeln gegen kurz dauernde elektrische Ströme unterempfindlich sind (s. oben S. 643). Im staunenswerthen Mechanismus der Zuckung stiess die Physiologie schon auf drei Beispiele scheinbarer Zweckwidrigkeit: Erwärmung des Muskels, Vergrösserung seiner Dehnbarkeit, Erzeugung eines chemisch ermüdenden Stoffes, der Säure. Als vierten Umstand der Art müssten wir es verzeichnen, hätte die Natur der contractilen Substanz eine geringe Empfindlichkeit gegen ihren adaequaten Reiz verliehen, oder umgekehrt ihr zum adaequaten Reiz ein wenig wirksames Agens erkoren.[1]

## [523] §. II. Die morphologische Grundlage der Entladungshypothese erweist sich bei näherer Prüfung als noch ganz unsicher.

Die morphologische Uebereinstimmung zwischen Endplatten und elektrischen Platten ist keineswegs so vollkommen, dass sie dazu berechtigte, rückhaltlos auf Einerleiheit ihrer Wirkungen zu schliessen.

Hr. Krause zwar betrachtet die Einerleiheit der Endplatten mit den elektrischen Platten als ausgemacht, und die Zurückführung der verschiedenen Formen der Endplatten auf dasselbe Schema bietet ihm keine Schwierigkeit. Hr. Babuchin geht auf Grund embryologischer Forschungen an Torpedo so weit, dass er das elektrische Organ einen Muskel nennt, aus dem die Muskelsubstanz entfernt sei.[2]

Eine erste Schwierigkeit für unbedingte Gleichsetzung von Endplatten und elektrischen Platten liegt doch in der Zusammensetzung der Endplatten aus zwei Substanzen, der eigentlichen Endplatte und jener feinkörnigen, kernhaltigen Protoplasmamasse zwischen ihr und der contractilen Substanz, die Hr. Kühne *Sohle* nennt.[3] An den elektrischen Platten findet sich nichts Entsprechendes, vielmehr sind sie, wie Hr. Kühne sofort bemerkte, im Gegensatz zu den nach ihm mehr homogenen eigentlichen Endplatten, selber feinkörnig und kernhaltig.[4] Vom elektrischen Standpunkte scheint die Sohle sogar zweckwidrig, da sie als Widerstand auf der Bahn der Stromcurven eingeschaltet ist, welche die contractile Substanz treffen sollen.

---

[1] [Unter der Voraussetzung, dass die Endplatten nur die zugehörige Muskelfaser erregen, liegt eine weitere Unzweckmässigkeit in der Art ihrer Verbreitung innerhalb des Muskels (s. oben S. 571. 585; — unten §. VIII)].

[2] Centralblatt der medicinischen Wissenschaften. 1870. S. 259.

[3] Vergl. Kühne in Stricker's Handbuch der Lehre von den Geweben u. s. w. Leipzig 1871. S. 147 ff. (1868.)

[4] Virchow's Archiv u. s. w. 1864. Bd. XXIX. S. 447.

Nach Hrn. Krause gehören die Kerne der Protoplasmamasse vielmehr der Bindegewebsmembran der Endplatte an, welche er den blutgefässführenden Scheidewänden zwischen den elektrischen Platten vergleicht.[1] Die feinkörnige Substanz selber löst sich ihm zu einer ausserordentlich reichhaltigen Nervenverzweigung von Terminalfasern zweiter Ordnung auf, welche knopfförmig endigen.[2] [524] Die Lage wird aber dadurch für die Entladungshypothese nicht gebessert. In keinem elektrischen Organ kommen solche Terminalfasern vom Nerven aus jenseit der elektrischen Platte vor, und man begreift nicht, was sie hier auf der Bahn des reizenden Schlages sollen.

Ebensowenig stimmt mit Hrn. Krause's Lehre Hrn. Engelmann's Anschauung, nach der Hrn. Kühne's ausgebuchtete Endplatte bei den Reptilien eine durch Absterben veränderte Axencylinderverzweigung wäre, die in die feinkörnige Protoplasmamasse ausliefe und sich darin verzweigte.[3] Ich verstehe nicht recht, wie Hr. Krause sagen kann, dass Hr. Engelmann gleichzeitig mit ihm für Deutung der Protoplasmamasse als einer Nervenverzweigung sich ausgesprochen habe.[4] Diese Masse fährt für Hrn. Engelmann fort, neben der Axencylinderverzweigung zu bestehen, so gut wie für Hrn. Kühne neben der Endplatte. Hrn. Engelmann's Auslegung des Bildes bei den Reptilien entspricht eher der Deutung, die Hr. Rouget vom Doyère'schen Nervenhügel bei den Arthropoden als von einer in Protoplasma gebetteten, bis zur contractilen Substanz vordringenden Nervenverzweigung giebt.[5]

Hr. Boll seinerseits glaubt neulich bei der Eidechse an der Plattensohle dieselbe schwer zu deutende Punktirung erkannt zu haben, die er in den elektrischen Platten des Zitterrochen und Zitterwelses entdeckte, und er sieht hierin eine entscheidende Stütze für Hrn. Krause's Auffassung,[6] ohne sich übrigens darüber zu äussern, ob seine Punktirung einerlei sei mit Hrn. Krause's Zähnelung der Plattensohle in der Seitenansicht, welche von den kolbigen Enden der Terminalfasern zweiter Ordnung herrühren soll.[7]

Eine andere morphologische Schwierigkeit für die Entladungshypothese ist die Beschaffenheit der motorischen Nervenendigung bei den Am-

---

[1] A. a. O. S. 168.

[2] Archiv für Anatomie u s. w. 1868. S. 647. 648; — Die motorischen Endplatten u. s. w. S. 73. 74.

[3] Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft. 1868. Bd. IV. S. 307.

[4] A. a. O. u. s. w. S. 165.

[5] Comptes rendus etc. 1864. t. LIX. p. 851.

[6] M. Schultze's Archiv für mikroskopische Anatomie. 1873. Bd. X. S. 11. 12.

[7] A. a. O. S. 137.

phibien. Hr. Kühne lässt hier die Nervenfaser nur in stumpf [525] endigende, marklose, mit Endknospen besetzte Axencylinder sich auflösen.[1] Aehnlich urtheilt Hr. Rouget, indem er die Nervenendigung bei Amphibien und Arthropoden für nahe übereinstimmend erklärt.[2] Hr. Krause deutet dasselbe Bild als langgestreckte dünne Endplatten gleicher Art wie bei Reptilien, Vögeln und Säugern, zu denen die der Chelonier den Uebergang bilden sollen.[3] Wo aber bleiben dann hier die Terminalfasern in den Endplatten, wenn es Terminalfasern und auch Endplatten giebt, oder warum werden die beim Frosch allem Anschein nach von der Natur selber klargelegten Terminalfasern von Hrn. Krause Endplatten genannt?

In der That, wenn bei anderen Thieren Hr. Krause die Terminalfasern zweiter Ordnung, in welche die anscheinend feinkörnige Masse ihm sich auflöst, aus Terminalfasern erster Ordnung entspringen lässt, in die der motorische Axencylinder sich spaltet,[4] so fragt man sich, was bei ihm schliesslich von der Endplatte noch übrig bleibe. Sie würde höchstens eine Scheide um die sie durchsetzenden, gleichsam von ihr umgossenen Terminalfasern erster Ordnung bilden. Unter diesen Umständen dürfte schwer zu sagen sein, worin die Analogie der motorischen Endigung mit elektrischen Platten, so weit diese uns bekannt sind, noch bestehe. Hr. Babuchin, der auch überall in den Endplatten Nervenverästelung annimmt, vergleicht wenigstens die Endplatten nur mit embryonalen elektrischen Platten, in denen nach ihm Verästelung von Zellenfortsätzen stattfindet, die nachmals mit dem Axencylinder der elektrischen Nervenfaser verschmelzen (s. übrigens unten S. 735).

Diese Widersprüche, diese Zweifel gehen so tief, dass es rathsam scheinen könnte, die Erörterung der Entladungshypothese bis dahin zu verschieben, wo über deren morphologische Grundlage besseres Einverständniss erzielt sein wird. Doch wird es sich als nicht unfruchtbar erweisen, wenn wir von diesen morphologischen Schwierigkeiten vorläufig absehen, und, indem wir uns im Allge- [526] meinen auf den Krause-schen Standpunkt stellen, untersuchen, welche Aussichten von diesem aus in physikalischer und physiologischer Richtung für die Entladungshypothese sich eröffnen. Wir gehen also im Folgenden von der ursprünglichen Vorstellung aus, dass eine Endplatte, bis auf ihre gestreckt ellip-

---

[1] Vergl. Kühne in Stricker's Handbuch u. s. w. S. 154.

[2] L. c. p. 852. 853.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 646 ff.; — Die motorischen Endplatten u. s. w. S. 95 ff.

[4] A. a. O. S. 74.

tische Form, einer elektrischen Platte von Malopterurus vergleichbar sei. Wir sehen aber der Einfachheit halber vorläufig von Hrn. Krause's Behauptung ab, dass die Endplatte bei Wirbelthieren ausserhalb des Sarkolemms liege.[1]

Als morphologischer Grund für die Entladungshypothese war geltend gemacht worden, dass, nach Hrn. Trinchese, beim Zitterrochen die Endplatten besonders gross und stark entwickelt sind.[2] Hr. Boll bemerkte seitdem, dass auch bei anderen Rochen gleich ausgezeichnete Entwickelung der Endplatten sich findet.[3] Es wäre voreilig, daraus zu schliessen, dass die besondere Grösse der Endplatten bei den Rochen in keiner Beziehung zum elektrischen und pseudoëlektrischen Organe stehe, welches bei mehreren ihrer Gattungen vorkommt. Zu diesem Schlusse würde man erst berechtigt sein, nachdem erwiesen wäre, dass in den Muskeln anderer elektrischen und pseudoëlektrischen Fische (Gymnotus, Malopterurus, Mormyrus, Gymnarchus) die Endplatten nicht besonders entwickelt sind.

## §. III. Es wird untersucht, wie die Anordnung der Endplatten zur Entladungshypothese passe.

Untersuchen wir jetzt, wie Gestalt und Lage der als elektrische Platten aufgefassten Endplatten zu der ihnen durch die Entladungshypothese zugeschriebenen Rolle passen. Wir lassen beim Schlage die Sohlenfläche der Platte die eine, ihre Rückenfläche die andere Elektricität annehmen. Gleichgültig für unseren Zweck ist dabei, ob die Rückenfläche negativ, die Sohlenfläche positiv werde, wie man nach Analogie elektrischer

---

[1] [Kurze Zeit nach dieser Abhandlung erschien Hrn. Gerlach's Schrift: Das Verhältniss der Nerven zu den willkürlichen Muskeln u. s. w. (Leipzig 1874), worin das Dasein der Endplatten überhaupt geläugnet, und ein die ganze Muskelfaser durchdringendes intravaginales Nervennetz geschildert wurde. Damit hätte die Entladungshypothese ohne Weiteres ein Ende gehabt. Dagegen wurden neuerlich mehrere Arbeiten über die motorische Nervenendigung veröffentlicht, welche im Wesentlichen darin übereinstimmen, dass Hrn. Gerlach's Lehre auf Täuschung beruhe, übrigens an der Sachlage nicht viel ändern. (Aug. Ewald in Pflüger's Archiv u. s. w. 1876. Bd. XII. S. 529; — Fischer im Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1876. S. 354; — W. Krause in der 3. Auflage von C. F. Th. Krause's Handbuch der menschlichen Anatomie. Hannover 1876. Bd. I. S. 535, und im Archiv für mikroskopische Anatomie. 1876. Bd. XIII. S. 175; — Boll in den Monatsberichten u. s. w. 1875. S. 719. (3). — Vergl. oben S. 568].

[2] Robin, Journal de l'Anatomie et de la Physiologie etc. 1867. p. 485.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 97. Anm. 1; — M. Schultze's Archiv für mikroskopische Anatomie. Bd. X. 1873. S. 12.

Platten vermuthen könnte, oder ob die [527] Vertheilung der Zeichen die umgekehrte sei. Die Elektricitäten gleichen sich durch die Muskelmasse ab, deren Leitungsunterschiede wir, wie auch Induction und

Fig. 45.

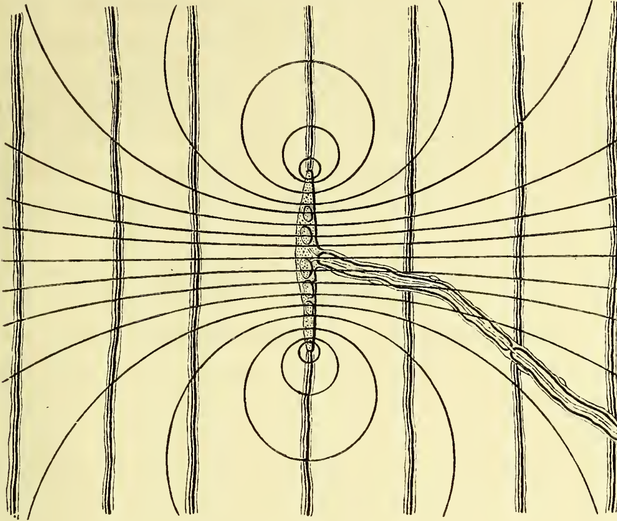
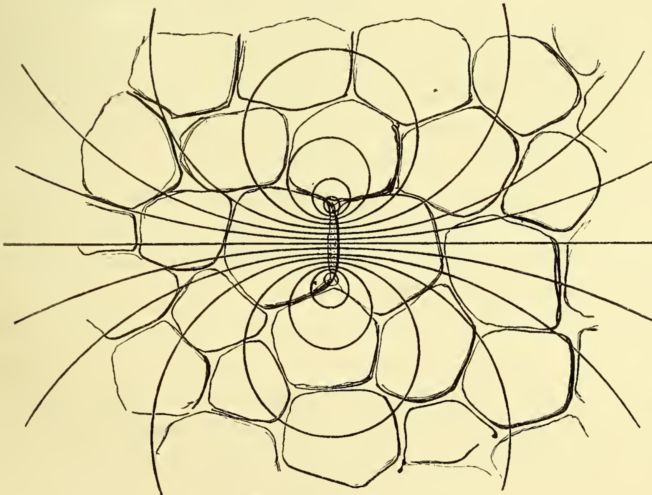


Fig. 46.



Polarisation, vernachlässigen. Machen wir zuerst die einfachste Voraussetzung, dass nämlich die beiden Flächen der Platte isoëlektrische Flächen sind, so zeigt von bei- [528] stehenden Figuren die erste, wie sich

das System der Stromcurven im Längsschnitt, die zweite, wie es im Querschnitt des Muskels etwa sich gestalten werde. In der Längsschnitt vorstellenden Figur sind der Deutlichkeit halber die Querstreifen fortgelassen.

Bei Betrachtung dieser Figuren erkennt man sogleich eine wichtige Folge aus unseren Annahmen. Der von einer bestimmten Endplatte ausgehende Schlag trifft mit einer gewissen Kraft nicht bloss eine Strecke der Faser, zu welcher die Endplatte gehört, sondern mit gleicher Kraft auch Strecken der benachbarten Fasern, namentlich derjenigen, welche an den Rücken der Platte stossen. Gleichgültig ist dabei, ob die Platte in den Umfang der zugehörigen Faser eingelassen ist oder daran vorspringt, ob es ein Nerventhal oder einen Nervenhügel giebt, worüber die Meinungen getheilt sind.

Dass die Endplatten den Muskel in grösserem Umfang erregen, erscheint gewiss als zweckmässig. Die von Hrn. KÜHNE im Sartorius des Frosches beschriebenen nervenlosen Muskelfasern würden so verständlich,[1] wie auch der Umstand, dass Hr. KRAUSE bei seinen Zählungen am Retractor bulbi der Katze gewöhnlich ein paar Endplatten weniger als Muskelfasern fand.[2]

Auf der anderen Seite befremdet es doch sehr, dass die Endplatten zur Faser, der sie histologisch angehören, physiologisch in keiner näheren Beziehung stehen sollen, als zu vielen anderen. Man sollte meinen, dass, wenn dies sich so verhielte, die Endplatten frei, d. h. ausser Verbindung mit einer bestimmten Faser, in regelmässigen Abständen zwischen den Fasern vertheilt sein würden. Um die bestehende Anordnung zu rechtfertigen, könnte man sagen, dass die Endplatte zu ihrer Ernährung der besonderen Verbindung mit einer Muskelfaser bedürfe; das ist aber eine klägliche Auskunft. Wenn eine Endplatte mehrere Muskelfasern erregte, wäre es überdies sinnlose Verschwendung, dass in der ungeheuren Mehrheit der Fälle jede Muskelfaser mindestens eine Endplatte erhält. Nervenlose Muskelfasern, sofern es überhaupt solche giebt, müssten viel häufiger sein [vergl. oben S. 568].

[529] Die Betrachtung unserer Figuren eröffnet noch ein anderes Bedenken. Man bemerkt nämlich, dass die Stromcurven im Allgemeinen senkrecht auf die Axe der Fasern verlaufen. Die unter ihnen, welche mehr in Längsschnittsebenen liegen, haben als geschlossene Curven natürlich auch longitudinale Componenten. Aber gerade die Theile der Curven,

---

[1] Ueber die peripherischen Endorgane der motorischen Nerven. Leipzig 1862. 4⁰. S. 37. Fig. 14 E.

[2] A. a. O. S. 77.

welche die zugehörige Faser und die an den Rücken der Endplatte stossenden Fasern am dichtesten treffen, verlaufen quer. Nun steht von den Nerven fest, dass sie von queren Strömen nur sehr schwach, wenn überhaupt, erregt werden.[1] Insofern in den Muskeln die intramusculären Nerven gereizt werden, ist auch für sie die Längsdurchströmung die günstigere. Hier aber käme es darauf an zu wissen, wie die contractile Substanz selber gegen quere Ströme sich verhält. Dies war zur Zeit, wo ich mich diesen Erwägungen hingab, noch unbekannt. Ist die Entladungshypothese richtig, und entspricht unsere Construction der von einer Endplatte ausgehenden Stromcurven im Allgemeinen der Wirklichkeit, so müssen durch Curara oder Anelektrotonus entnervte Muskeln für quere Ströme mindestens ebenso empfänglich, wenn nicht empfänglicher sein, als für Längsströme.

Hier war ein doppelter Angriffspunkt für den Versuch gegeben. Erstens musste, wenn es anging, untersucht werden, ob eine erregte Endplatte ausser der zugehörigen Faser noch andere Fasern erregt, zweitens musste der Erfolg der Erregung entnervter Muskeln durch quere Ströme geprüft werden.

Mit beiden Fragen hat Hr. Carl Sachs im hiesigen physiologischen Laboratorium auf meine Bitte sich beschäftigt. Das Einzelne seiner Versuche wird man in einer demnächst im Archiv für Anatomie und Physiologie[2] erscheinenden Abhandlung [530] von ihm dargelegt finden. Ihr allgemeines Ergebniss hat er schon kurz veröffentlicht.[3]

Zwischen der Wirkung quer- und der längsgerichteter Ströme auf entnervte Froschmuskeln liess sich kein Unterschied erkennen. Das Zutreffen dieses von mir aus der Entladungshypothese vorhergesagten Satzes schien ihr höchst schlagend das Wort zu reden.

Minder günstig lautet die Antwort des Versuches auf die andere Frage. Als Hr. Sachs mittels eines feinen Elektrodenpaares einzelne Nervenfasern eines dünnen Froschmuskels (Sartorius, Cutaneus femoris oder pectoris) unter dem Mikroskop durch sehr schwache Inductionsströme reizte, sah er die Zuckung auf die Muskelfaser sich beschränken, deren Endplatten aus der gereizten Nervenfaser hervorgingen.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 296 ff.; — Bd. II. Abth. I. S. 354 ff. 462. — Pflüger, Untersuchungen über die Physiologie des Electrotonus. 1859. S. 179. 283. 410. — H. Munk, Untersuchungen über das Wesen der Nervenerregung. 1868. Bd. I. S. 318. — Filehne, Pflüger's Archiv u. s. w. 1873. Bd. VII. S. 71. — Hitzig, ebenda. S. 263. — Bernheim, ebenda. 1873. Bd. VIII. S. 60. — Hermann, ebenda. S. 273.

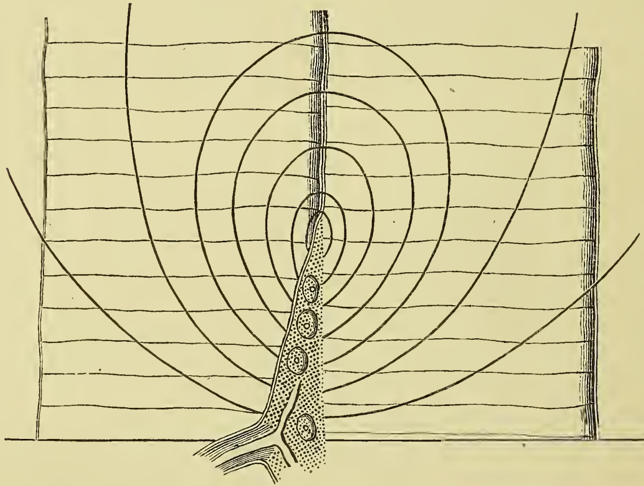
[2] S. dort, 1874. S. 57.

[3] Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1873. S. 578. 579.

Zwar fügt Hr. Sachs hinzu, dass bei stärkerer Reizung die Wirkung einer Endplatte vielleicht auf mehrere Fasern sich erstreckt hätte. Allein nach unseren, in obigen Figuren versinnlichten Annahmen hätte bei jeder Reizstärke, bei der die zu einer Endplatte gehörige Faser zuckte, auch die an den Rücken der Platte stossende Faser zucken müssen, da beide von gleich dichten Stromcurven getroffen wurden.

Man könnte einwenden, Hr. Sachs habe nur an Froschmuskeln experimentirt, deren Endplatten von denen anderer Thiere weit abweichen, und gerade am wenigsten elektrischen Platten gleichen (s. oben S. 703). Die Entladungshypothese macht indess keinen wesentlichen Unterschied zwischen den Endplatten des Frosches und denen anderer Thiere, und

Fig. 47.



wer möchte glauben, dass die Wirkung der Endplatten beim Frosch auf die zugehörige Faser sich beschränke, bei anderen Thieren auch die Nachbarfasern treffe?

Es fragt sich aber, ob nicht über die Wirkungsweise der Platten eine Vermuthung sich aufstellen lasse, wobei diese Schwierigkeit fortfiele.

Die Dicke der Endplatten nimmt, wie die der elektrischen Platten bei Malopterurus, vom Hilus nach dem Rande zu ab. Diesen Umstand liessen wir bisher unberücksichtigt. Bestände die Platte ihrer ganzen Dicke nach aus gleich grossen und gleich [531] stark wirksamen einander gleich nahen dipolar elektromotorischen Molekeln, die im Augenblick des Schlages senkrecht auf die Platte sich richten (s. oben S. 671), so

wären die Flächen der Platte keine isoëlektrischen Flächen mehr, sondern deren Spannung nähme vom Hilus nach dem Rande zu ab. Im Organ von Malopterurus brächte dies keine andere Wirkung hervor, als wenn die Platten überall gleich dick, und wie bei Torpedo und Gymnotus übereinander geschichtet wären, denn die zwischen einander geschobenen Platten ergänzen einander in der Richtung des Stromes überall zu gleicher Dicke. Etwas Anderes wäre es mit einer einzelnen Platte innerhalb einer vergleichsweise weit ausgedehnten leitenden Masse, wie der Muskel sie für eine Endplatte darstellt. Hier wäre die Folge eine Veränderung der Stromcurven in der Art, dass die Curven aus der Fläche der Platte nicht mehr senkrecht austreten, sondern nach dem Plattenrande hin sich neigen, etwa wie Fig. 47 es zeigt, der Verhältnisse ähnlich wie bei Hydrophilus zu Grunde gelegt sind.

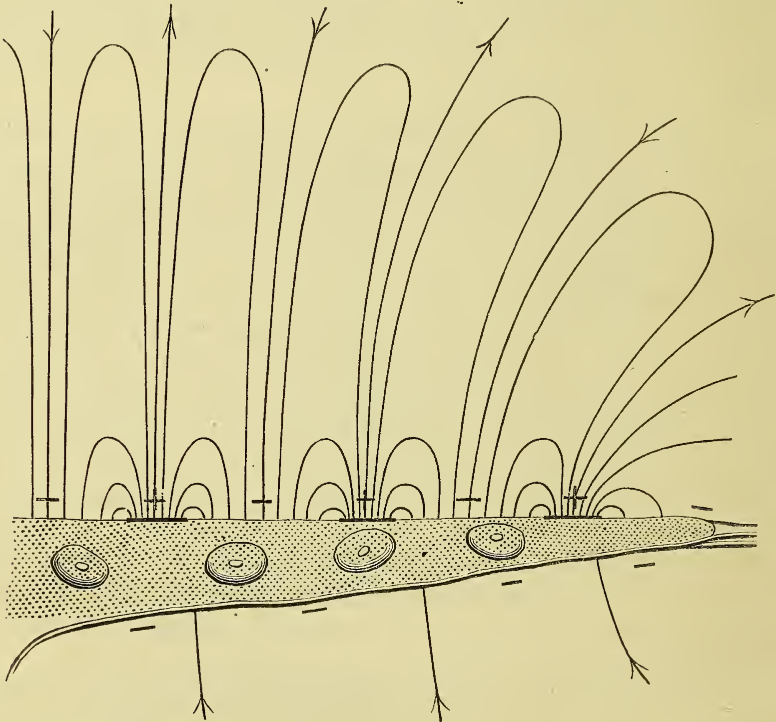
Ungefähr dieselbe Veränderung der Stromcurven würde natürlich auch dadurch erzeugt, dass aus anderer Ursache, als wegen Abnahme der Dicke, die Platte in der Mitte stärker elektromotorisch [532] wirkte als am Rande. Gleichviel wie solche Veränderung der Stromcurven entstände, ein Theil der Strömung erhielte dadurch eine mehr der Länge der Faser nach verlaufende Richtung. Darum ist es uns aber jetzt nicht mehr zu thun, wo wir wissen, dass am entnervten Muskel Quer- und Längsdurchströmung gleich wirksam sind. Worauf es uns ankäme, das wäre Beschränkung der Wirkung des Schlages einer Platte auf die zugehörige Faser. Hierfür leistet die Annahme grösserer elektromotorischer Kraft der Platte in der Mitte als am Rande nichts. Die Curven an beiden Flächen der Platte bleiben dabei symmetrisch, und man sieht leicht, dass uns mit keiner Hypothese über die Stromvertheilung um die Platte geholfen ist, bei welcher diese Symmetrie fortbesteht. Wir bedürfen solcher Vertheilung der Spannungen an der Platte, dass die dadurch gesetzte Strömung in der zugehörigen Faser merklich dichter ist, als in den Nachbarfasern.

Es lassen sich verschiedene Arten ausdenken, wie solche Strömung zu Stande käme. Sie entstände e r s t e n s, wenn im Augenblick der Entladung an der Sohlenfläche der Platte positive Inseln, wie ich sie nennen will, auftauchten, während die übrige Sohlenfläche und die Rückenfläche negativ würden. Es versteht sich, dass man auch die entgegengesetzte Vertheilung der Zeichen annehmen kann; der Einfachheit halber nenne ich nur die eine. Aus den Inseln brächen dann dichte Curvenbüschel hervor, und verlören sich in die Rückenfläche mit vergleichsweise verschwindender Dichte; zu den die Inseln trennenden Strecken der Sohlenfläche kehrten sie mit um so grösserer Dichte zurück, je kleiner diese Strecken im Vergleich zu den Inseln. (S. Fig. 48.) Dieser Theil der

Strömung wäre von gleicher Beschaffenheit, wie der einst von mir studirte Strömungsvorgang sogenannter flacher Erregerpaare.[1]

Eine asymmetrische Strömung, wie wir sie brauchen, entstände zweitens, wenn die Rückenfläche neutral bliebe, an der Sohlenfläche aber die positiven Inseln und die sie trennenden negativen Strecken im Vergleich zur Plattendicke hinreichend klein würden. Dann stellte im Augenblick der Entladung die Sohlen- [533] fläche eine Mosaik positiver

Fig. 48.



und negativer Punkte vor, zwischen denen gleichsam nur Molecularströmchen kreisten, die schon in einer Entfernung gleich der geringsten Dicke der Platte von unmerklicher Dichte wären.

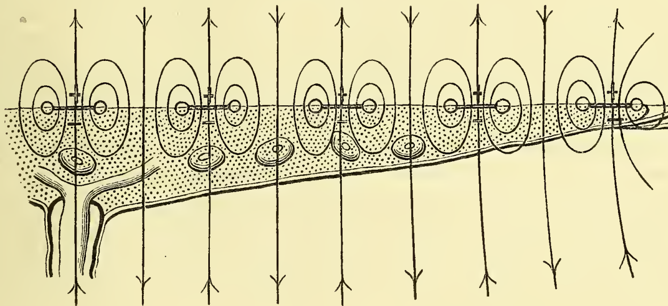
Dies führt zu einer dritten Lösung der Aufgabe. Unter der Voraussetzung, dass die positiven Inseln hinreichend klein wären, könnte man sie sich mit wesentlich gleichem Erfolg ersetzt denken durch gleich grosse

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 581. — Vergl. Fick, Die medicinische Physik. 2. Aufl. Braunschweig 1866. S. 342.

elektromotorische Flächen. Diese stellten ebenso viel auf das kleinste Maass beschränkte elektrische Platten vor, welche einen Strömungsvorgang ähnlich dem in Fig. 45. 46 erzeugten. Während aber die eine Hälfte dieses Strömungsvorganges die contractile Substanz der zugehörigen Faser träfe, ergösse sich dessen andere Hälfte durch die Endplatte selber, und die an deren Rückenfläche stossenden Nachbarfasern erhielten davon nur einen so wenig dichten Theil, dass sie unerregt blieben. (S. Fig. 49).

[534] Solche künstlich ersonnene, für ein bestimmtes Bedürfniss aus der Luft gegriffene Hypothesen sind aber nicht nur an sich verwerflich, sondern ihre Bestätigung dürfte auch kaum noch eine Bestätigung der Entladungshypothese heissen. Eine Platte, bei deren Innervation einzelne Punkte ihrer einen Fläche einen bestimmten elektrischen Zustand annehmen, wäre vielleicht einer elektrischen Platte verwandt, doch keinenfalls

Fig. 49.



mehr eine elektrische Platte im gewöhnlichen Sinne zu nennen. Immer wird es uns nützlich gewesen sein, diese Erwägung angestellt zu haben, und wir werden später nochmals auf die so modificirte Entladungshypothese zurückkommen.

Einstweilen fahren wir fort, trotz dem bisher wenig günstigen Ergebniss unserer Untersuchung, die ursprüngliche Entladungshypothese mit den Thatsachen zu vergleichen. Während in der eben betrachteten Richtung sich Wolken für sie zusammenzogen, hat nach einer anderen Seite der Ausblick sich erhellt.[1]

[1] [Hr. Krause hat noch auf eine andere Art aufmerksam gemacht, wie die aus Hrn. Sachs' Versuch für die Entladungshypothese entspringende Schwierigkeit vielleicht zu heben wäre. Bei Reptilien, Vögeln, Säugern, seien die Endplatten concav, indem sie $1/4$ bis $1/3$ vom Mantel der cylindrischen Muskelfasern umgreifen. Die Stromdichte werde also an der concaven Seite grösser sein als an der convexen, daher, nach ihm, die stärkere Reizung der zugehörigen Faser (Handbuch der mensch-

## §. IV. Verhalten von Endplatten und elektrischen Platten gegen Curara.

Eine Schwierigkeit, auf welche die Entladungshypothese bis vor Kurzem stiess, war nämlich das Verhalten der elektrischen Organe des Zitterrochen gegen Curara. Hr. Armand Moreau hatte berichtet, dass, während die Muskeln des Zitterrochen gleich denen anderer Thiere durch Curara gelähmt werden, das elektrische [535] Organ zu schlagen fortfährt.[1] Aus leicht ersichtlichen Gründen wäre dies für die Entladungs-

lichen Anatomie von C. F. Th. Krause. 3. Aufl. von W. Krause. Bd. I. Hannover 1876. S. 501; — Archiv für mikroskopische Anatomie. 1876. Bd. XIII. S. 172). Hrn. Krause's Grundgedanke ist richtig und sinnreich, doch bezweifle ich, dass seine Hypothese dadurch gerettet werde. Er führt selber meine ihm brieflich mitgetheilten Bedenken an, glaubt aber darüber sich hinwegsetzen zu können. Ich meinerseits bedaure, dabei bleiben zu müssen. Erstens sind die Endplatten nicht solche concave Schilde, wie Hr. Krause sie braucht. Die Muskelfaser ist *in situ* prismatisch, und wenn es auch vorkommen mag, dass eine Endplatte zwei, ja drei Seiten des Prisma's umfasst, so kann es ebenso oft sich ereignen, dass sie nur auf eine Seite sich erstreckt. An Stelle des Hohlspiegels, den die concave Endplatte gleichsam vorgestellt hätte, treten bestenfalls drei, unter stumpfem Winkel aneinander stossende Planspiegel, von denen noch dazu die seitlichen nur sehr geringe Oberfläche haben. Je stumpfer der Winkel, um so grösser fällt im Vergleich zu den Componenten die Resultante aus, aber auch um so schwächeren Stromcurven gehören die Componenten an. Unter diesen Umständen dürfte der Unterschied zwischen der inneren und der äusseren Wirkung der Endplatte zu klein und unsicher ausfallen, um eine folgenschwere Theorie darauf zu gründen. Hierüber lässt sich übrigens durch schematische Versuche etwas ausmachen. Zweitens sagt zwar Hr. Krause, dass der Frosch weidenblattförmige Endplatten habe, aber seine eigene Abbildung (Archiv für mikroskopische Anatomie u. s. w. A. a. O. Taf. XIV. Fig. 2) zeigt davon nichts. Weidenblätter, welche, nicht breiter als der Stiel, vom Stiel aus stetig sich verschmälern, giebt es nicht. Ich sehe nach wie vor beim Frosche nur eine Nervenverzweigung, und glaube, dass wenn man keine andere motorische Nervenendigung gekannt hätte, als die beim Frosche, die Entladungshypothese nie entstanden wäre. Mit anderen Worten, beim Frosch entbehrt diese Hypothese jeder morphologischen Begründung. Aber auch wenn man die motorische Nervenverzweigung beim Frosche mit Hrn. Krause als Endplatte auffasst, bleibt die aus dem Sachs'schen Versuche sich ergebende Schwierigkeit hier uneingeschränkt bestehen. Hr. Krause will sie durch die Annahme hinwegräumen, dass die Terminalfasern der Axe der Muskelfaser nicht genau parallel, sondern ein wenig schräg verlaufen. Wiederum zeigt seine eigene Abbildung nichts von solcher Anordnung; und wenn sie stattfände, so hülfe sie zu nichts, denn vergegenwärtigt man sich die Stromcurven, welche zwei in verschiedener Höhe gelegene Flächenelemente der angeblichen Endplatte aussenden, so sieht man leicht, dass sie gar nicht mehr, oder nur mit ihren schwächeren Ausläufern, zu vortheilhaften Resultanten für das Innere der Faser sich zusammensetzen.]

[1] Comptes rendus etc. 1860. t. LI. p. 573; — 1862. t. LIV. p. 963 (Claude Bernard's und Becquerel's d. V. Bericht); — Annales des Sciences naturelles. 4me Série. Zoologie. 1862. t. XVIII. p. 12.

hypothese sehr misslich gewesen. Denn da ein curarisirter Muskel unmittelbar erregbar bleibt, begreift man nicht, warum, wenn die Endplatten noch schlagen, er nicht auch noch sollte mittelbar erregbar sein. Nach Hrn. Marey sollten übrigens die elektrischen Organe nur einer vergleichsweisen Immunität gegen Curara geniessen, d. h. nur länger als Muskeln ihm widerstehen.[1]

Diese Schwierigkeit scheint aber jetzt durch Hrn. Boll in anderer Art beseitigt. Nach ihm wird allerdings das Organ des Zitterrochen durch Curara nicht gelähmt, allein, was Hrn. Moreau entging, auch die Muskeln des Thieres werden es nicht, und eben so wenig unterliegen andere Knorpelfische der Wirkung des Giftes.[2] Sogar hiesige Flussfische, wie schon Hr. Schiffer gelegentlich bemerkte,[3] und neuerlich Hr. Boll im hiesigen Laboratorium bestätigte,[4] sind vergleichsweise fest gegen Curara.

Die Sachen stehen demnach hier so, dass es motorische Nerven und Endplatten giebt, nämlich die der Fische überhaupt, welche scheinbar Curara ebenso wenig lähmt, wie die elektrischen Platten der Zitterfische. Gäbe es bei Amphibien, oder anderen für Curara empfänglichen Thieren, nach Hrn. Babuchin's Anschauung (s. oben S. 701) aus Endplatten der Thiere mit Ausschluss contractiler Substanz gebildete elektrische Organe, so kann man [536] behaupten, würden diese Organe so gut wie die Muskeln derselben Thiere der Curarawirkung unterliegen. Noch einfacher ist, mit Hrn. Hermann sich zu denken, dass die Fische nur deshalb fest gegen Curara sind, weil sie durch ihre Kiemen schnell entgiftet werden.[5]

---

[1] Comptes rendus etc. 1871. t. LXXIII. p. 918.

[2] Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 94.

[3] Archiv für Anatomie u. s. w. 1868. S. 453. Anm. 1.

[4] Archiv für Anatomie u. s. w. 1873. S. 98 Anm. — Hr. Boll bemerkt (S. 96 Anm.), dass schon Matteucci die allgemeine Immunität der Torpedo gegen Curara beobachtet habe, und führt dafür eine Stelle aus einer Abhandlung vom Jahr 1860 an. Hat aber Matteucci ursprünglich richtiger gesehen als Hr. Moreau, so ist er doch seiner Sache so wenig gewiss gewesen, dass er das Jahr darauf im Widerspruch mit sich ganz wie Hr. Moreau sagt: *„Una torpedine avvelenata col „curaro e che non dà piu contrazioni muscolari allorchè si irritano i suoi nervi, „non cessa perciò di dare la scarica elettrica.“* (Corso die Elettro-fisiologia ec. Torino 1861. p. 126).

[5] Vergl. Schiffer a. a. O.; — L. Hermann, Lehrbuch der experimentellen Toxicologie. Berlin 1874. S. 308. Anm. 6; — [Steiner im Archiv für Anatomie u. s. w. 1874. S. 700.]

## §. V. Es wird untersucht, wie die Zeitverhältnisse des Zitterfischschlages zur Entladungshypothese passen.

Ich habe bekanntlich gezeigt, dass beim Tetanisiren des elektrischen Nerven das elektrische Organ von Malopterurus keinen stetigen Strom giebt. Dies folgt daraus, dass ein den Schlägen des Organes ausgesetzter stromprüfender Schenkel in Tetanus verfällt (s. oben S. 644). Dies ist wichtig; wäre der Erfolg der entgegengesetzte, so vermöchte die Entladungshypothese nicht, das Tetanisiren des Muskels vom Nerven aus zu erklären. Bei näherer Betrachtung der Zeitverhältnisse des Zitterfischschlages entstehen jedoch für die Entladungshypothese neue Schwierigkeiten.

Nach der Entladungshypothese müsste der Schlag der Endplatten der negativen Schwankung des Muskelstromes voraufgehen. In Hrn. Bernstein's Versuchen am Differential-Rheotom zeigte sich aber bei unmittelbarer Reizung entnervter Muskeln gar kein Stadium der Latenz für die negative Schwankung.[1] Nach Hrn. Sigmund Mayer's von mir bestätigtem Versuch am Rheotom beginnt die [537] negative Schwankung am Gastroknemius etwa 0·004″ nach Reizung des Nerven (s. oben S. 451 ff.). Schreiben wir der Reizung eine Geschwindigkeit von 27 $^{\text{m}}$ und dem Nerven eine Länge von 25 $^{\text{mm}}$ zu, so gehen von jenen 0·004″ noch $\frac{25''}{27000}$ = 0·000926″ für Fortpflanzung der Reizung im Nerven ab.

Lässt man in der Vorstellung die negative Schwankung unmittelbar auf Entladung der Endplatte folgen, so blieben also nur 0·00307″ für die Zeit übrig, während der die Entladung die zur Erregung der Muskelsubstanz nöthige Höhe erreichen müsste.

Schon die subjective Empfindung lehrt, dass der Schlag der Zitterfische viel länger anhält (s. oben S. 619). Dass bei Torpedo der Schlag länger dauere, als der Oeffnungsinductionsstoss, der ihn erzeugte, schloss Hr. Eckhard daraus, dass bei gleicher oder kleinerer elektromagnetischer Wirkung letzterer stärker empfunden wird als ersterer (s. oben S. 617 Anm. 2). Zu derselben Zeit zeigte ich bei Malopterurus mittels des Froschunterbrechers, dass eine durch den Schlag des Fisches erzeugte Zuckung eines Froschgastroknemius ein, je nach der Ueberlastung grösseres oder geringeres Stück eines einzelnen Schlages abschneidet; dass also die Dauer des Schlages am lebenden Zitterwelse und die der Zuckung von gleicher Ordnung sind (s. oben S. 617. 618). Genau genommen hätten in diesen Versuchen Schlag und Zuckung durch den nämlichen Oeffnungsinductions-

---

[1] Untersuchungen über den Erregungsvorgang u. s. w. S. 58.

stoss erzeugt werden müssen, anstatt, wie es geschah, der Schlag durch Willkür oder Reflexthätigkeit des Fisches, die Zuckung durch den Schlag. Doch ist nicht daran zu denken, dass der durch einen Inductionsstoss erzeugte Schlag des Organes kurz genug werden sollte, um in das Stadium der latenten Reizung des Muskels hineinzupassen. Ebenso wenig darf man die lange Dauer des Fischschlages in mei- [538] nen Versuchen ungleichzeitiger Wirkung verschiedener Theile des Organs zuschreiben. Bei Torpedo, vollends Gymnotus, wäre dieser Verdacht zulässig, weil bei Torpedo die Organe von mehreren, bei Gymnotus von sehr viel Nerven, bei beiden von einer ungeheuren Zahl von Primitivnervenröhren versehen werden. Das Organ des Zitterwelses dagegen erhält jederseits nur eine Nervenröhre. Bei gleichzeitiger Innervation der beiden Nervenröhren, die man voraussetzen darf, muss das ganze Organ in nicht längerer Zeit in Thätigkeit gerathen, als die Fortpflanzung des Reizes von den dem Nerveneintritt nächsten bis zu den davon fernsten Platten des Organs erfordert.

Seitdem hat Hr. Marey, ohne, wie es scheint, von jenen zwölf Jahre älteren Versuchen zu wissen,[1] den Verlauf des Schlages von Torpedo am Pendelmyographion mit Hülfe des stromprüfenden Froschschenkels unmittelbar bestimmt. Der Schlag wurde erregt durch elektrische Reizung der elektrischen Nerven. Es wurde daraus stets ein $\frac{1''}{200}$ langes Stück ausgeschnitten, und durch dieses der Nerv des stromprüfenden Schenkels gereizt. Das auszuschneidende Stück konnte gleichsam längs dem Schlage verschoben werden. Hr. Marey fand so, dass der Schlag $\frac{1''}{14}$ dauert.[2]

[539] Ausserdem aber behauptet Hr. Marey für den Schlag des Zitterrochen das Dasein eines Stadiums latenter Reizung. Bei den so eben geschilderten Versuchen gab sich dies darin zu erkennen, dass eine gewisse Verschiebung des auszuschneidenden Stückes vom Augenblick der Reizung ab nöthig war, damit überhaupt Zuckung erschien. Genauer mass Hr. Marey die Zeit der latenten Reizung durch ein Verfahren ähnlich dem, durch welches Hr. Helmholtz den die secundäre Zuckung

---

[1] Als einzige schon bekannte Thatsache, woraus mehr als augenblickliche Dauer des Schlages folge, führt Hr. Marey einen Versuch Matteucci's an, in welchem der Kreis des Zitterrochen, beiläufig gesagt, nach Faraday's Erfindung (s. oben S. 626), mittels eines über eine Feile schleifenden Drahtes geschlossen wird. Reizt man zugleich den Fisch, so sieht man im Dunkeln einen, zuweilen auch zwei Funken zwischen Draht und Feile. Dieser Schluss ist nicht sicher, weil die Zitterfische meist mehreremal nacheinander schlagen (s. oben S. 617).

[2] Comptes rendus etc. 16 Octobre 1871. t. LXXIII. p. 958.

erzeugenden Theil der negativen Schwankung des Muskelstromes bestimmte.[1] Er liess zwei Zuckungen sich verzeichnen, deren eine ein Inductionsstoss, deren andere ein Schlag des Organs erregte, den der Inductionsstoss bei gleicher Stellung der Zeichenplatte erzeugte.. Die Verschiebung der Zuckungscurven gegen einander gab die Dauer der latenten Reizung des Organs $= \frac{1''}{60}$, weniger die im elektrischen Nerven verlorene Zeit. Diese betrachtete Hr. Marey, wegen Kürze des Nerven, im vorliegenden Fall als nahe verschwindend, obschon er sonst bemerkt zu haben glaubt, dass im elektrischen Nerven der Reiz etwas langsamer als im Froschnerven sich fortpflanze. Die Dauer der latenten Reizung im Muskel selber fand Hr. Marey $= \frac{1''}{80}$, gleichfalls weniger die im Nerven verlorene Zeit. Danach würde das Stadium der latenten Reizung im Organ sogar länger als im Muskel dauern.[2]

Wenn diesen Ergebnissen zu trauen ist — und Hr. Marey ist in Versuchen der Art sehr geschickt und erfahren — dann steht es schlimm um die Entladungshypothese. Selbst wenn die Endplatten einen richtigen Schlag ertheilten, und nicht bloss, wie nach der modificirten Hypothese, durch veränderten elektrischen Zustand einzelner Punkte ihrer Sohlenfläche wirkten, wäre ihre volle Einerleiheit mit elektrischen Platten physiologisch nicht mehr zu halten. Man wäre genöthigt, zwischen den Vorgängen in beiden wenigstens hinsichtlich der Zeitverhältnisse der Entladung einen wesentlichen Unterschied anzuerkennen, und es würde die Schale wieder zu Gunsten der älteren Anschauung sich neigen, [540] welche im elektrischen Organ einen verwandelten Muskel, im Schlage das Aequivalent der Zuckung sieht.

Ohne Hrn. Marey zu nahe zu treten, liesse sich zur Rettung der Entladungshypothese aus dieser zweiten grossen Schwierigkeit nur bemerken, dass die Dauer der latenten Reizung mit der Ermüdung wächst, und dass ein ausgeschnittenes Organ von Torpedo wohl stets als ein ermüdetes, ja erschöpftes deshalb anzusehen ist, weil es vom Fange des Thieres an bis zur Präparation häufige Veranlassung zum Schlagen gehabt hat.[3] Während der Oeffnungsinductionsstoss sogleich in voller Höhe

---

[1] Diese Berichte, 1854. S. 329.

[2] Comptes rendus etc. 9 Octobre 1871. t. LXXIII. p. 918.

[3] Hr. Boll sagt a. a. O. S. 89: „Wie man sich leicht durch einen dem Körper „der Torpedo einfach angelegten stromprüfenden Froschschenkel überzeugt, wehrt „sich die Torpedo gegen die Manipulationen des Experimentators durch sehr zahl„reiche elektrische Entladungen, deren Energie natürlich sehr bald abgeschwächt „wird und die das Organ ausserordentlich ermüden.“ — [Vergl. oben S. 647.]

da ist, schwillt der Schlag mehr allmählich an. Er erreicht also in Versuchen, wie Hr. Marey sie anstellte, die zur Reizung des Froschnerven nöthige Stärke erst einige Zeit nach seinem wahren Anfang, und es ist so wenigstens denkbar, dass dieser Anfang ein früherer gewesen sei, als es schien.

Immer bliebe eine Schwierigkeit bestehen. Nach meinen Versuchen am Zitterwels und Hrn. Marey's am Zitterrochen ist die Dauer des Schlages von gleicher Ordnung mit der Zuckungsdauer. Von der Entladungshypothese aus erscheint es aber sinnlos, dass die Endplatten, nachdem längst die Zuckung eingeleitet worden, mit wachsender Kraft zu wirken fortfahren, und das Maximum ihrer Wirkung etwa gleichzeitig mit dem der Zuckung erlangen.

Was diese Schwierigkeit betrifft, so bin ich, wie ich glaube, in der Lage, sie heben zu können, und zwar auf einem Wege, der zugleich den Vortheil bietet, einen überraschenden Blick in den elektrischen Mechanismus des Zitterfischschlages zu eröffnen.

## §. VI. Ueber secundär-elektromotorische Erscheinungen am elektrischen Organe des Zitterwelses.

Vor sechszehn Jahren entdeckte ich am elektrischen Organe des Zitterwelses secundär-elektromotorische Wirkungen[1] sehr merk- [541] würdiger Art, die ich bisher nicht beschrieb, weil ich hoffte, Gelegenheit zu finden, diese Erscheinungen genauer am Zitterrochen zu verfolgen. Da ich in nächster Zeit schwerlich dazu kommen werde, will ich hier das Ergebniss jener Versuche mittheilen, obschon ich sonst vermeide, unfertige Untersuchungen zu veröffentlichen.

Die folgenden Versuche sind in mehrfacher Beziehung unvollkommen. Als ich sie anstellte, besass ich noch nicht die unpolarisirbaren Elektroden. Die schwierige und bedeutsame Verwickelung, welche bei Versuchen der Art der später von mir sogenannte 'secundäre Widerstand'[2] einführt, hatte ich noch nicht klargelegt und wusste ich noch nicht möglichst unschädlich zu machen. Die Zuleitung des polarisirenden Stromes, von dem sogleich die Rede sein wird, geschah durch Kupferplatten in Kupfersulfatlösung und durch Keilbäusche,[3] die mit derselben Lösung getränkt waren. Die Ableitung der secundär-elektromotorischen Wirkung geschah durch Kochsalzbäusche und Platinelektroden in gesättigter Kochsalzlösung. Da ich auch den Gebrauch des Modellirthons bei thierisch-

[1] Vergl. oben Bd. I. S. 2. Anm. 1; — Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. II. S. 382.

[2] S. oben Bd. I. S. 80.

[3] S. oben Bd. I. S. 88. 89 Anm.

elektrischen Versuchen noch nicht kannte, waren die Bäusche mit doppelten 'Eiweisshäutchen'[1] überzogen.

Ich war nicht mit den passenden galvanometrischen Hülfsmitteln versehen. Nur Eine Wiedemann'sche Bussole stand zur Verfügung. An dieser musste der durch den polarisirenden Strom erzeugte Ausschlag abgelesen werden. Die secundär-elektromotorische Wirkung wurde am Multiplicator für den Nervenstrom beobachtet, der sich bald als viel zu empfindlich erwies, nachdem aber die Versuche damit angefangen waren, nicht mit einem anderen Instrumente vertauscht werden konnte, ohne die Vergleichbarkeit der späteren Ergebnisse mit den früheren zu opfern.

Endlich die verwickelten hier stattfindenden Beziehungen können der Natur der Sache nach nur durch öfter wiederholte, planmässig abgeänderte Versuche völlig aufgeklärt werden, die unmöglich im Lauf weniger Stunden am absterbenden Organ eines [542] oder zweier Thiere sich anstellen liessen, während zahlreiche andere Fragen nicht geringerer Wichtigkeit auch entschieden sein wollten, und es ganz unsicher war, wie lange das Organ leistungsfähig bleiben würde. Alles, was sich thun liess, war, die Grundzüge der neuen Erscheinung festzustellen.

Die Versuche verlangten übrigens zwei geübte Beobachter. Hr. Pflüger und Hr. G. Quincke, beide damals noch in Berlin, leisteten mir ihre sachkundige Hülfe (vergl. oben S. 618. 619).

Um die neue Erscheinung verständlich zu machen, erinnere ich zuerst daran, dass nach meinen Untersuchungen das Organ des Zitterwelses in der Ruhe nicht merklich elektromotorisch wirkt. Zwischen den mit Eiweisshäutchen bekleideten Bäuschen verhält sich die äussere Fläche der Haut gegen alle übrigen natürlichen wie künstlichen Begrenzungen des Organes schwach positiv, also beiläufig umgekehrt, wie die entsprechende Fläche der Froschhaut gegen die entsprechenden Begrenzungen. Schwerlich hängt diese Wirkung mit dem besonderen Vermögen des Organes zusammen. Etwas dem Muskel- oder Nervenstrom Aehnliches zeigt das Organ nicht.[2] Bringt man einen der Länge nach aus dem Organe geschnittenen Streif mit seinen Endquerschnitten zwischen die Bäusche der Zuleitungsgefässe, so bleibt also vollends die Nadel in Ruhe.

Sendet man aber durch den Streif einen fremden elektrischen Strom von bestimmter Stärke und Dauer, und nimmt man, wie bei Polarisationsversuchen,[3] unmittelbar nach Aufhören des Stromes den Streif in

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 223. (VIII); — s. oben Bd. I. S. 161.

[2] Dasselbe berichtet Hr. Eckhard vom Zitterrochenorgane. Beiträge u. s. w. A. a. O. S. 161. 162. — [S. oben S. 672].

[3] S. oben Bd. I. S. 2.

den Multiplicatorkreis auf, was mechanisch in stets gleicher Weise geschah, so findet man den Streif elektromotorisch wirksam geworden.[1]

Die so erhaltenen secundär-elektromotorischen Wirkungen bieten anfangs ein verworrenes Bild, indem sie bald dem primären Strom entgegengerichtet, negativ, bald ihm gleichgerichtet, positiv, bald stark, bald schwach, und in einzelnen Fällen doppelsinnig erscheinen. Bei näherer Betrachtung zeigt sich, dass sie als algebraische Summe einer negativen und einer positiven Wirkung aufgefasst werden können, welche von Stärke und Dauer des primären Stromes verschieden abhängen.

[543] Hat der polarisirende Strom nur eine gewisse Stärke, so erhält man rein negative Polarisation. Ist der Strom stärker, und dauert er nur kurze Zeit, so tritt die positive Polarisation hervor; bei längerer Dauer des Stromes wird auch hier die Polarisation negativ.

Dabei ist nun aber sehr merkwürdig, dass die positive Polarisation viel stärker erfolgt in der absteigenden Richtung (vom Kopfe zum Schwanz), in welcher das Organ des Zitterwelses schlägt, als in der entgegengesetzten. Die Polarisation durch den nur einen kleinen Bruchtheil einer Secunde dauernden Strom einer dreissiggliederigen Grove'schen Säule führte z. B. bei aufsteigender Richtung die Multiplicatornadel nur eben an die negative Hemmung, bei absteigender Richtung dagegen mit äusserster Heftigkeit an die positive Hemmung, an der die Nadel dann förmlich zu kleben schien. Mit nur zehn oder zwanzig Gliedern und bei gleicher oder auch längerer Dauer des Stromes war die Polarisation bei beiden Richtungen negativ. Ein Uebergangszustand liess sich darin er-

[1] [Ich habe seitdem gefunden, dass schon im Anfange des Jahrhunderts, kurz nach Entdeckung der Ladungssäule durch J. W. Ritter, auch die Polarisirbarkeit des elektrischen Organes beobachtet wurde. Pietro Configliachi schreibt aus Porto Venere, am 6. August 1805, an Volta: „Ich errichtete aus den getrennten Or- „gänen einiger Zitterrochen, die mir gar kein Zeichen am Electrometer gegeben „hatten, Säulen, die mehrere Minuten durch sehr wirksam waren, wenn ich sie einige „Zeit der Wirkung meiner gewöhnlichen Säule aus Zink- und Kupferplatten ausge- „setzt hatte, wie dies bei den kürzlich von Ritter aus einem einzigen Metalle errich- „teten Säulen eintritt, die er uneigentlich Ladungssäulen nennt" (Aus den Annali di Chimica e Storia naturale di L. Brugnatelli. t. XXII. p. 249—256, übersetzt in Gehlen's Journal für die Chemie, Physik und Mineralogie. 1807. Bd. IV. S. 657). Configliachi sagt nicht, in welchem Sinne die secundäre Säule aus elektrischen Organen thätig war, da er sie aber der Ladungssäule vergleicht, kann kein Zweifel sein, dass sie negativ wirkte. Für die Leser folgender Seiten ergiebt sich dies ohnehin daraus, dass die Säule aus Organen dem Strome der Zinkkupfersäule einige Zeit ausgesetzt wurde. Letztere bestand aus dreissig und mehr Plattenpaaren (s. a. a. O. S. 653). Von besonderem Interesse ist, dass es so scheinbar ohne Schwierigkeit gelang, an den elektrischen Organen elektroskopische Wirkungen zu beobachten].

kennen, dass bei aufsteigendem Strome vergleichsweise starke, bei absteigendem schwache negative Polarisation erschien.

Natürlich kommt es hier, wie überall in diesem Gebiete, nicht auf die Stromstärke an, sondern auf die Stromdichte. Mit einem schmäleren Streife traten schon bei geringerer Gliederanzahl der Säule die Erscheinungen hervor, die ein breiterer Streif erst bei grösserer gab. Bei längerer Fortsetzung der Versuche am nämlichen Streife sank die Lebhaftigkeit der Wirkungen, aber die der positiven scheinbar schneller als die der negativen, so dass nun bei beiden Richtungen des primären Stromes negative Polarisation erfolgte, aber stärkere bei der aufsteigenden als bei der absteigenden. An einem gesottenen Streife schien nur noch spurweise negative Polarisation, keine positive Polarisation mehr da zu sein. Dagegen bei der niedrigen Temperatur, die zur Zeit der Versuche herrschte, sich überlassene Streife noch am sechsten Tage nach dem Tode eine Andeutung des beschriebenen Verhaltens zeigten. Zuletzt trat darin noch eine bemerkenswerthe Aenderung ein. Die Polarisation durch den aufsteigenden Strom war rein negativ, die durch den absteigenden Strom dagegen doppelsinnig, indem einem negativen Ausschlag ein grösserer positiver Rückschwung der Nadel folgte. Die positive Wirkung nahm also in jedem einzelnen Versuche mit der Zeit langsamer ab, als die negative.

[544] Bei fast allen diesen Versuchen wurde, wie schon bemerkt, zugleich mit dem secundären Ausschlag am Multiplicator der Ausschlag durch den kurz dauernden polarisirenden Strom an der Bussole beobachtet. An frischen Streifen, an denen die positive Polarisation in der Richtung des Schlages in voller Kraft auftrat, war stets der absteigende Strom bedeutend stärker als der aufsteigende, im Verhältniss von 100 : 112; 116; ja sogar 125. An gekochten und an absterbenden Streifen verschwand der Unterschied. Diese Wirkung schien durchaus auf nichts anderes gedeutet werden zu können, als auf eine während der Dauer des primären Stromes stattfindende positive Polarisation von grosser elektromotorischer Kraft, der von mehreren Grove'schen Elementen vergleichbar, die bei der einen Stromrichtung sich zur Kraft der Grove'schen Säule hinzufügte.

Streife des Organes auf die Richtung seines Schlages senkrecht, am Thier also quer geschnitten, gaben bei nur sehr kurzer Einwirkung der dreissiggliederigen Säule schwächere, aber nach beiden Richtungen gleich starke positive Polarisation, und die Stärke des polarisirenden Stromes war in beiden Richtungen bis auf den Scalentheil dieselbe. Dagegen ein in der Richtung von der äusseren Haut nach der inneren Sehnenhaut[1]

---

[1] Vergl. Bilharz, Das elektrische Organ des Zitterwelses u. s. w. S. 24.

oder umgekehrt durchströmtes Stück des Organes gab in beiden Richtungen nur schwache negative Polarisation.

Endlich Streife aus der nicht elektrischen Hautschwarte[1] gaben nur Spuren negativer Polarisation; die Fettflosse selber keine merkliche secundär-elektromotorische Wirkung.

Liess ich unmittelbar nach Durchströmung eines Streifes vom Organ den Nerven des stromprüfenden Schenkels darauf fallen, so zuckte in günstigen Fällen der Schenkel.

Soweit meine, wie gesagt, leider sehr unvollständigen, vielleicht in mehreren Punkten fehlerhaften Erfahrungen am Zitterwelse. Da ich noch lange nach dem Tode des Fisches Zeichen des am meisten interessirenden Verhaltens, nämlich der positiven Polarisirbarkeit im Sinne des Schlages, erhalten hatte, liess ich Zitterrochen aus [545] Triest kommen, und suchte an deren Organ entsprechende Spuren wahrzunehmen. Die Thiere kamen aber vermuthlich von umgesetztem Harnstoff[2] aus Maul und Kiemen nach Ammoniak riechend in solchem Zustand an, dass nicht zu verwundern ist, wenn meine Bemühungen vergeblich blieben. Das Organ des Zitterwelses hat übrigens für diese Versuche, wie überhaupt für alle Arten physiologischer Ermittelungen, grosse Vorzüge vor dem des Zitterrochen (s. oben S. 611). Jenes lässt sich zu Streifen schneiden, deren prismatische Gestalt durch die äussere Haut und innere Sehnenhaut erhalten wird. Mehrere Torpedosäulchen, am einen Ende durch Rücken-, am anderen durch Bauchhaut begrenzt, zerfliessen leicht zu sanduhrähnlicher Gestalt.

Wie mangelhaft aber auch obige Versuche noch sind, der Punkt, auf den es hier ankommt, und um desswillen ich sie hier mittheile, erhellt deutlich genug, und ist als völlig gesichert zu betrachten. Dies ist die positive Polarisirbarkeit des Organes, d. h. unstreitig seiner einzelnen elektrischen Platten, in dem Sinne, in welchem sie selber schlagen. Es ist nicht der mindeste Grund anzunehmen, dass diese Eigenschaft nicht auch im lebenden Thiere vorhanden sei, und dass nicht jede Platte des Organes durch den Schlag aller anderen positiv polarisirt werde, in derselben Art, wie in einer Rolle, in der ein Strom verschwindet, alle Windungen einander verstärkend auf einander inducirend wirken.[3]

---

[1] Bilharz, a. a. O. S. 28. Taf. I. Fig. 6. i. Taf. IV. Fig. 1. i.

[2] Frerichs und Städeler in Erdmann's und Werther's Journal für praktische Chemie. 1858. Bd. LXXIII. S. 48.

[3] [Vielleicht waren es Spuren solcher positiven Polarisation des Organes durch den eigenen Schlag, welche sich Matteucci darboten, als er ausgeschnittene Stücke des Organes vom Zitterrochen in der Richtung des Schlages schwach elektromotorisch wirksam fand. Jede Reizung des Organes verstärkte vorübergehend diese

Daraus fliessen zwei Folgerungen. Erstens steigert sich der Schlag des Organes durch sich selber. Aus je mehr säulenartig übereinander geschichteten Platten ein Organ besteht, um so stärker wird sein Schlag, nicht bloss wegen der grösseren Zahl der Säulenglieder, und, bei gleicher Stärke dieser Glieder, im Verhältniss ihrer Zahl, sondern in stärkerem Verhältniss wegen wachsender positiver Polarisation. Hierin liegt eine bemerkenswerthe Vollkommenheit der von der Natur gebildeten Säule gegenüber unseren Säulen, die sich durch negative Polarisation schwächen.

Zweitens wird durch die positive Polarisation auch die Dauer des Schlages vergrössert, gerade wie in der Nebenrolle der Oeffnungsinductionsschlag, vermöge der secundären Induction, die nur einen unmerklichen Zeittheil währende Oeffnung des Hauptstromes weit [546] überdauert.[1] Je gliederreicher die natürliche Säule, d. h. je länger das Organ, um so länger muss unter übrigens gleichen Umständen sein Schlag dauern. Dieser Schluss würde sich durch Vergleichung der Dauer des Schlages verschieden grosser Zitterwelse prüfen lassen. Denn da sämmtliche elektrische Platten des Zitterwelses auf jeder Seite des Thieres durch nur eine Nervenröhre versehen werden, so sollte die Schlagdauer eines grossen die eines kleinen Fisches bei gleicher Dauer der Elementarentladungen nur um die Zeit übertreffen, deren die Reizung bedarf, um den Unterschied der Längen der Organe zurückzulegen. Ich habe nun aber wirklich längere Dauer des Schlages grösserer Zitterwelse im Vergleich zu dem von kleineren beobachtet, und zwar zu einer Zeit, wo ich diese Betrachtungen noch nicht angestellt hatte, und also ganz unbefangen war. Vielmehr deutete ich die längere Dauer des Schlages der grösseren Fische auf deren grössere Leistungsfähigkeit (s. oben S. 661. 662); sichtlich ohne hinreichenden Grund, da man ebenso gut sich denken könnte, dass mit sinkender Leistungsfähigkeit die Entladung langsamer werde [vergl. unten S. 735. 736].

Wenn nun mit wachsender Zahl der elektrischen Platten die Dauer des Schlages wächst, so muss sie auch umgekehrt mit deren abnehmender Zahl abnehmen, wie in einer Nebenrolle der Oeffnungsstrom um so schneller sinkt, je kleiner ihr Potential auf sich selber, oder aus je we-

---

Wirkung (Comptes rendus etc. 1865. t. LXI. p. 627). Hr. Robin gab dasselbe vom pseudoëlektrischen Organe des gemeinen Rochen an (Journal de l'Anatomie et de la Physiologie etc. 1865. p. 595. 596). Hr. Eckhard dagegen beobachtete am Zitterrochen so wenig wie ich am Zitterwels irgend eine dauernde Wirkung des ruhenden Organes, weder im Sinne des Schlages, noch nach Art des Muskelstromes. (Beiträge zur Anatomie und Physiologie u. s. w. A. a. O. S. 161. 162.) — Vergl. oben S. 672. 718]

[1] Vergl. Helmholtz in Poggendorff's Annalen u. s. w. 1851. Bd. LXXXIII. S. 505; — oben Bd. I. S. 237.

niger Windungen sie besteht.[1] Die Schlagdauer einer einzigen elektrischen Platte ist also möglicherweise ungleich kleiner, als die des ganzen Organes.

Und nun sieht man, welche Bedeutung diese Ergebnisse für die Entladungshypothese haben. Es schien dieser Hypothese zu widersprechen, dass unnützerweise der Schlag der Endplatten, nach Analogie des Zitterfischschlages, so lange dauern solle wie die Zuckung selber. Dies anzunehmen, ist nun aber nicht mehr nöthig. Der Schlag des ganzen Organes, verlängert und nebenbei verstärkt durch positive Polarisation, ist von etwa gleicher Dauer mit der Zuckung. Der Schlag einer einzelnen elektrischen Platte, und also [547] auch der einer Endplatte, wenn diese einer elektrischen Platte vergleichbar ist, kann viel flüchtiger sein, so flüchtig, dass wenn es nur nicht, nach Hrn. Marey, für diesen Schlag selber ein Stadium latenter Reizung gäbe, er in das Stadium der latenten Reizung des Muskels wohl hineinpassen könnte.

## §. VII. Versuche über secundäre Zuckung durch Entladung der Endplatten.

Setzen wir uns eine Zeit lang über die Schwierigkeit fort, welche darin liegt, dass nach der ursprünglichen Hypothese eine Endplatte nicht bloss auf die zugehörige, sondern auch auf die Nachbarfasern erregend wirken würde, und vergessen wir, dass nach Hrn. Sachs' Versuch dies in Wirklichkeit nicht stattfindet. Alsdann bietet sich noch ein Weg, die Entladungshypothese durch den Versuch zu prüfen. Von diesem Standpunkt aus ist nämlich der Schluss erlaubt, dass möglicherweise die Entladung sämmtlicher Endplatten nicht bloss auf den Muskel erregend wirke, sondern auch einer Wirkung nach aussen fähig sei, wie Hr. Krause sich dies dachte, als er die Meissner'sche positive Schwankung der Entladung der Endplatten zuschrieb.

Die positive Schwankung hat nun zwar, wie ich zeigte, mit der Entladung der Endplatten nichts zu thun, da sie nur eine verlarvte negative Schwankung ist (s. oben S. 699). Doch könnte die negative Schwankung einen Antheil in sich bergen, der von der Entladung herrührte, und von der Schwankung durch geeignete Mittel sich scheiden liesse. Auf doppelte Weise könnte solcher Antheil sich erkennen lassen.

Erstens dadurch, dass man am zuckenden Muskel eine andere Vertheilung der Spannungen nachwiese, als am ruhenden.

[1] S. oben Bd. I. S. 237.

Diese Untersuchung ist, wenigstens am Frosche, schon angestellt, da sie mit der Ermittelung zusammenfällt, ob der Betrag der negativen Schwankung bei jeder Lage der ableitenden Multiplicatorenden am Muskel der ursprünglichen Stromstärke proportional sei. Man erinnert sich, dass zwar Abweichungen von dieser Proportionalität vorkommen, doch zu klein, um zu einem Schluss solcher Bedeutung zu berechtigen, wie der hier in Rede stehende (s. oben S. 415. 416. 426). [548] Die Entladungshypothese hatte ich im Auge, als ich bei meinen kürzlich veröffentlichten Untersuchungen über die negative Schwankung das elektromotorische Verhalten im Tetanus zwischen der myopolaren Nervenstrecke und Punkten des Muskelumfanges nahe dem Nerveneintritt prüfte (s. oben S. 416). Hätte ich den Nerven negativer gefunden als in der Ruhe, so wäre dies der Entladungshypothese günstig gewesen. Er war es aber nicht, sondern wenn ein besonderes Verhalten des Nerven sich kund gab, so wurde er vielmehr bei der Thätigkeit positiver gegen die genannten Punkte.

Auch habe ich die secundäre Zuckung oft und gründlich auf ihre Abhängigkeit von der Lage des secundären Nerven auf dem primären Muskel untersucht (s. oben S. 473. 480), und trotz mancher kleinen Störung mich immer wieder davon überzeugt, dass sie sicher nur erfolgt, wenn der secundäre Nerv vom Strome des ruhenden Muskels durchflossen ist, oder nach aufgehobener Parelektronomie durchflossen sein würde. Auf dem Mangel an Einsicht in letztere Bedingung beruht der Widerspruch MATTEUCCI's und Hrn. CIMA's gegen meine Angabe (s. oben S. 418). Insbesondere erfolgt secundäre Zuckung nicht oder nur selten und spurweise, wenn man den secundären Nerven senkrecht auf die Faserrichtung um den primären Muskel schlingt. Für die quer verlaufenden Stromcurven der hypothetischen Entladung müsste dies gerade die günstigere Anordnung sein.

Der zweite Versuchsplan, um aus der negativen Schwankung oder secundären Zuckung einen Antheil auszuscheiden, der auf Rechnung der Entladung der Endplatten zu bringen wäre, bestände darin, ein Mittel zu suchen, welches die contractile Substanz ihrer Leistungsfähigkeit beraubte, ohne die Endplatten zu tödten. Ein solches Mittel würde der primären Zuckung und der negativen Schwankung ein Ende machen, die secundäre Zuckung aber bestehen lassen. Gelänge dies und gelänge es zu zeigen, dass die übrig bleibende secundäre Zuckung nicht elektrotonischen Ursprunges sei, so wäre die Entladungshypothese so gut wie bewiesen.

[549] Ein solches Verfahren ist aber nicht gefunden. Hr. KÜHNE setzte, wie er mir mündlich mittheilte, einige Hoffnung auf das Rhodankalium, welches nach Hrn. CLAUDE BERNARD ein specifisches Muskelgift

sein soll.[1] Obschon der Beweis hierfür mir mangelhaft scheint, habe ich eine Versuchsreihe in der Absicht angestellt, secundäre Zuckung bei mittelbarer Reizung der durch Rhodankalium unerregbar gemachten Muskeln zu beobachten. Dazu spritzte ich Frösche vom Aortenbulbus mit einer verdünnten Lösung von Rhodankalium aus.[2] Ich trieb immer soviel Lösung hindurch, bis sie neben der Canüle farblos ausfloss, wozu bei mittelgrossen Fröschen unter günstigen Umständen 25 ccm reichen.[3] Ich fand, dass eine dreiviertelprocentige Lösung noch sicher jeder Zuckung ein Ende machte. Eine halbprocentige Lösung liess schon leicht in der einen oder anderen Muskelgruppe einen geringen Grad von Erregbarkeit bestehen. Ich suchte diese Grenze, um möglichst wenig Gefahr zu laufen, auch den Endplatten zu schaden. Nie jedoch gelang es mir, eine Spur secundärer Zuckung zu sehen, wo keine primäre mehr da war. Natürlich muss man bei diesen Versuchen vor unipolaren Zuckungen sich hüten. Ich habe den Versuch, statt mit Rhodankalium, eben so erfolglos mit Chlorkalium angestellt, von dem jedoch eine einprocentige Lösung zu gleicher Wirkung erforderlich war, obschon der Kaliumgehalt des Chlorkaliums grösser ist, als der des Rhodankaliums. Die Giftigkeit des Rhodankaliums rührt also nicht bloss vom Kalium her, son- [550] dern auch vom Rhodan, wofür auch Hrn. Podcopaew's Versuche an Hunden sprechen.[4]

Vom Veratrin war angegeben worden, dass es zuerst die quergestreiften Muskeln, dann die Nerven tödte.[5] Nach A. v. Bezold's und Hirt's Versuchen, die ich bestätigen kann, ist dies nicht richtig.[6] An Fröschen, denen ich mittels der Pravaz'schen Spritze schwefelsaure Ve-

---

[1] Leçons sur les effets des Substances toxiques et médicamenteuses. Paris 1857. p. 354. — Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des Liquides de l'Organisme. Paris 1859. t. II. p. 244.

[2] Ich kann nicht, wie Hr. Kühne, empfehlen, den Frosch „durch einen kräftigen Hieb auf den Kopf zu lähmen", damit er beim Einspritzen still liege (Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 769). Es begegnet Einem dabei leicht, dem Frosch, ausser der Gehirnerschütterung, eine Zerreissung grosser Gefässe beizubringen, wodurch die Einspritzung vereitelt wird.

[3] Da man von der Aorta aus einen Theil der Flüssigkeit durch die Lungen in den linken Vorhof treibt, der für die Muskeln verloren, nicht bloss unbestimmbar, sondern unstreitig auch veränderlich ist, so scheint mir, bei dieser Art der Einspritzung, eine genauere Angabe der eingespritzten Menge, wie man sie manchmal findet, mindestens unnütz.

[4] Virchow's Archiv u. s. w. 1865. Bd. XXXIII. S. 512. 513.

[5] Kölliker, Physiologische Untersuchungen über die Wirkung einiger Gifte. Virchow's Archiv u. s. w. 1856. Bd. X. S. 257.

[6] Untersuchungen aus dem physiologischen Laboratorium in Würzburg. Th. I. Leipzig 1867. S. 91. — Vergl. Hermann, Lehrbuch der experimentellen Toxicologie. Berlin 1874, S. 346.

ratrinlösung beigebracht hatte, erhielt ich von den Nerven aus keine Zuckung mehr, als noch die Muskeln sich unmittelbar erregen liessen. Secundäre Zuckung fehlte schon zu dieser Zeit.

Ebenso verhielten sich Nerven und Muskeln mit Antiarin vergifteter Frösche, welches auch für ein vorzüglich auf die Muskeln wirkendes Gift ausgegeben worden ist.[1]

Weiter habe ich diese Untersuchung nicht geführt. Durch die Betrachtungen, die zu Hrn. Sachs' Versuch leiteten, und durch das Ergebniss dieses Versuches war ihr der Boden entzogen. Wenn die Endplatten nur auf die eine, ihnen zugehörige Faser wirken, so hat es keinen Sinn zu versuchen, ob sie an der Muskeloberfläche die Vertheilung der Spannungen ändern, und über die Grenzen des Muskels hinaus einen Nerven erregen können.

Es ist aber vielleicht nicht unnütz zu bemerken, dass obige Ergebnisse auch in dem Fall nichts beweisen würden, wo kein Grund wäre zu bezweifeln, dass die Endplatten die contractile Substanz in weitem Umfang erregen, und also auch vielleicht auf einen dem Muskel anliegenden Nerven wirken können. Erstens sind die Versuche am Frosch angestellt, dessen Endplatten von denen der Säugethiere, Vögel u. s. w. so weit abweichen, dass Einige sie für verschiedener Natur halten (s. oben S. 708). Zwei- [551] tens könnte die Entladungshypothese richtig sein, die Entladung der Endplatten könnte die Muskelfasern in weitem Umkreis erregen, sie könnte die Rhodankaliumvergiftung der Muskelfasern überstehen, und es brauchte dennoch keine secundäre Zuckung durch die Entladung stattzufinden.

Dies wird klar, wenn man sich Grösse und Anordnung der Endplatten genauer überlegt. Die grössten bekannten Endplatten, die von Torpedo, erreichen nach Hrn. Krause's Messungen eine Länge von höchstens $0 \cdot 2^{\text{mm}}$. Denkt man sie sich in einen Muskel von $35^{\text{mm}}$ Länge, $7^{\text{mm}}$ Breite und $3^{\text{mm}}$ Dicke eingebettet, was etwa die Maasse eines kleineren Froschgracilis sind, so würden sie verhältnissmässig darin etwa dieselbe Grösse haben, wie ein tausendmal längeres Rasirbecken von $0 \cdot 2^{\text{m}}$ Länge in einem Schwimmbassin von $35^{\text{m}}$ Länge, $7^{\text{m}}$ Breite und $3^{\text{m}}$ Tiefe. Bei diesen Verhältnissen könnte man den einzelnen Endplatten vermuthlich den elektrischen Spannungsunterschied zuschreiben, der sich in einem tüchtigen Blitz abgleicht, ohne dass etwas Merkliches davon nach Aussen gelangte. Genau freilich ist dieser Vergleich nicht; je grösser die leitende Masse, welche das Elektrodenpaar umgiebt, um so

---

1 Pelikan, Beiträge zur gerichtlichen Medizin, Toxikologie und Pharmakodynamik. Würzburg 1858. S. 164. — Vergl. Hermann, a. a. O. S. 351.

rascher nimmt mit deren fernerem Wachsen die nach Aussen gelangende Wirkung ab. Immer versteht man so besser die Möglichkeit, dass auch im Muskel die Wirkung der einzelnen Endplatten nach Aussen Null sein könnte, während sie in nächster Nähe zu der ihnen zugeschriebenen Erregung der contractilen Substanz genügte.

Da aber die Endplatten zwar sämmtlich mit ihren angeblich elektromotorischen Flächen der Faserrichtung parallel liegen, sonst aber regellos im Muskel angeordnet sind, so würde auch nicht auf säulenartige Verstärkung ihrer Wirkung nach Aussen zu rechnen sein.

## §. VIII. Schlussbemerkungen.

### Die modificirte Entladungshypothese.

Wie die Sachen stehen, ist das Ergebniss unserer Betrachtungen der Entladungshypothese ungünstig.

Die morphologische Grundlage dieser Hypothese ist mangelhaft. Die zwei Substanzen der Endplatten fehlen den elektrischen Platten, [552] und durch die der feinkörnigen Substanz von Hrn. Krause gegebene Deutung wird die Aehnlichkeit zwischen Endplatten und elektrischen Platten nicht gerettet. Vielmehr sahen wir, wie sich ihm unter der Hand die Endplatten gleichsam verflüchtigten. Gerade der Frosch, an dessen Nerven und Muskeln fast alle unsere Kenntnisse in der allgemeinen Nerven- und Muskelphysik gewonnen wurden, hat an Stelle der Endplatten Gebilde, die nur gezwungen unter das Schema elektrischer Platten sich bringen lassen.

Die aus der Immunität der elektrischen Organe gegen Curara der Entladungshypothese erwachsende Schwierigkeit ist zwar dadurch beseitigt, dass Fische überhaupt gegen dies Gift vergleichsweise fest sind. Auch die Schwierigkeit, welche aus der queren Richtung der Entladung anfangs entsprang, ist gehoben, und sogar auf doppelte Art: durch Hrn. Sachs' Versuch und durch die Hypothese grösserer elektromotorischer Kraft der Platte in ihrer Mitte als am Umfange. Endlich auch das Bedenken, zu welchem die für die Endplattenentladung unnütze Dauer des Zitterfischschlages Anlass giebt, lässt sich, wie ich zeigte, allenfalls hinwegräumen.

Es bleiben aber bestehen zwei nicht minder grosse Schwierigkeiten. Erstens, dass die Endplatten nach der Entladungshypothese die Muskelsubstanz in weiterem Umkreis erregen müssten, da sie doch histologisch nur Einer Faser zugehören, und, nach Hrn. Sachs, auch wirklich nur diese Faser erregen. Zweitens, dass nach Hrn. Marey dem Schlage von

Torpedo ein Stadium latenter Reizung von gleicher Länge mit dem der Zuckung vorhergeht. Nur durch die Annahme, dass die unvermeidliche Ermüdung des Organes Hrn. Marey getäuscht habe, lässt dieser letzteren Thatsache gegenüber die Entladungshypothese sich noch halten.

Ich gestehe, dass unter diesen Umständen diese Hypothese mir wenig Vertrauen einflösst. So weit ich überhaupt solchen Speculationen zu folgen geneigt bin, die gewöhnlich nur abseits an gefährliche Stellen locken, bin ich eher geneigt, mir die Sache folgendermaassen vorzustellen.

Ich gehe von der Annahme aus, die sich auf die Beobachtungen der HH. Babuchin, Engelmann, Krause, Rouget, Trinchese u. A., sowie auf das Verhalten bei Amphibien stützt, für die ich aber keine Verantwortung übernehme, der motorische Axencylinder löse sich in der Endplatte in Terminalfasern auf, die an der Muskelfaser enden. Ich stelle mir vor, dass ihr äusser- [553] stes Ende sich gegen die Muskelfaser umbiegt, so dass der natürliche Querschnitt die contractile Substanz berührt. Diesem Querschnitt lege ich die elektrischen Eigenschaften künstlicher Nervenquerschnitte bei. Ich denke ihn mir im Gegensatz zum neutralen Längsschnitt negativ, oder auch seine negative Spannung irgendwie compensirt, durch eine parelektronomische Schicht eigener Art oder durch entgegengesetzte negative Spannung elektromotorischer Muskelelemente.

Die Fortpflanzung der Reizung im Nerven ist von negativer Schwankung seiner Stromkraft begleitet. Dabei wird der Querschnitt plötzlich statt negativ, neutral oder, nach Hrn. Bernstein (s. oben S. 518), oft sogar um das Vielfache positiver, als er negativ war. War er in der Ruhe durch Compensation neutral, so wird er positiver als im ersten Fall um den Betrag der Nervenstromkraft in der Ruhe.

Sind bei neutralem Längsschnitt die Endquerschnitte der Terminalfasern negativ, so ist deren jeder einer kleinen elektromotorischen Fläche gleichzusetzen, welche die Elektricität in der Richtung auf die Endplatte zu treibt. Es geht also schon in der Ruhe von jedem Endquerschnitt ein dichter Büschel von Stromcurven aus, der aber in der zugehörigen Faser dichter ist als in den benachbarten, weil die elektromotorische Fläche der zugehörigen Faser unmittelbar anliegt, von den benachbarten aber durch die Dicke der Platte getrennt ist. Im Augenblick der Innervation änderte sich in diesen Curven der Sinn des Stromes, und seine Stärke in der neuen überträfe die in der alten Richtung. Ist die Spannung der Endquerschnitte in der Ruhe compensirt, so brächen erst jetzt die Curvenbüschel mit noch grösserer Stärke hervor.

So wäre von den oben S. 709—711 angegebenen Arten, wie die Entladung der Endplatte beschaffen sein müsste, damit nur die zugehörige

Faser erregt würde, die dritte, in Fig. 49 vorgestellte, verwirklicht. Die dort geforderten Punkte der Sohlenfläche, die plötzlich elektromotorisch wirken sollen, wären die Endquerschnitte der Terminalfasern. An Stelle der Entladung einer elektrischen Platte träte, um die Erregung der contractilen Substanz zu vermitteln, die negative Schwankung des Nervenstromes selber.

[554] Bei dieser Vorstellungsweise, welche *κατ' ἐξοχήν* die modificirte Entladungshypothese heissen mag, fällt die Schwierigkeit fort, welche Hrn. Marey's Beobachtung einer latenten Reizung am Zitterrochenorgan der ursprünglichen Hypothese bereitet. Wenn, wie Hr. Bernstein angiebt, der negativen Schwankung des unmittelbar erregten Muskels kein Latenzstadium vorhergeht, so würde die negative Schwankung der contractilen Substanz auf die der Nervensubstanz unverzüglich folgen.

Auch für die so modificirte Entladungshypothese ergeben sich beim ersten Blick Bedenken aus der Nervenendigung beim Frosche. Zwar die Schwierigkeit wäre gehoben, die der ursprünglichen Entladungshypothese aus der scheinbaren Abwesenheit von Endplatten beim Frosch erwächst. Wie die entsprechenden Gebilde beim Frosch histologisch mit den gewöhnlichen Endplatten in Uebereinstimmung gebracht sind, sobald das Wesentliche an letzteren eine Axencylinderverzweigung ist, so geschieht physiologisch dasselbe durch die auf diese Anschauung fussende modificirte Entladungshypothese. Der Vorgang beim Frosch unterschiede sich von dem bei anderen Thieren nur darin, dass bei ersterem die elektromotorischen Flächen (Nervenendquerschnitte) mehr vereinzelt und weiter von einander entfernt, bei letzteren enger gruppirt wären. Die einzelne Froschmuskelfaser würde in grösserem Umfange schwächer, die anderer Thiere in kleinerem Umkreise stärker erregt.

Aber unsere Erklärung des Umstandes, dass die elektrische Wirkung der Nervenendquerschnitte auf die zugehörige Muskelfaser beschränkt bleibe, scheint auf die Nervenendigung beim Frosche nur schlecht zu passen. Es scheint als fiele hier der Unterschied der Stromdichte zu klein aus, der davon herrührt, dass die der zugehörigen Faser ($F$) unmittelbar anliegende elektromotorische Fläche des Nervenendquerschnittes von der Nachbarfaser $F'$ nur durch das rundliche Ende der Terminalfaser $N$ und eine doppelte Sarkolemmdicke $S$, $S'$ getrennt ist (s. auf der folgenden Seite Fig. 50 $A$).

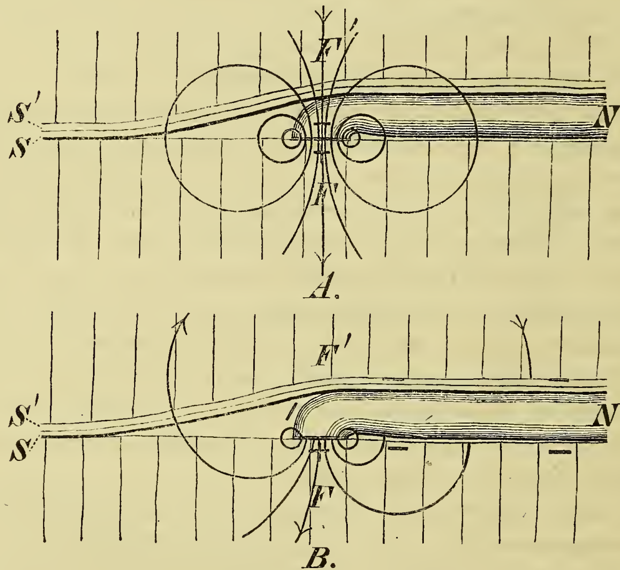
Um diesen Unterschied beliebig gross zu machen, wäre nur nöthig, dass nicht der ganze Endquerschnitt, sondern nur ein nach Bedürfniss kleiner centraler Bezirk des Querschnittes elektromotorisch thätig würde. Würde im Augenblick der Entladung der Längsschnitt negativ, statt neutral zu bleiben, so fiele jener Unterschied auch grösser aus, als bei der

Voraussetzung, dass nur der [555] Querschnitt seinen elektrischen Zustand ändere. Man ersieht dies aus Fig. 50 *B*, die zu Fig. 48 in demselben Verhältniss steht, wie Fig. 50 *A* zu Fig. 49.

Dieselben Bedenken und Voraussetzungen finden übrigens Anwendung auf Terminalfasern, welche in den Endplatten anderer Thiere fast am Rande der Platte endigen.

Glücklicherweise brauchen wir uns zu solchen Hypothesen *ad hoc* wie sie im Vorigen enthalten sind, nicht herbeizulassen. Es ist Zeit, daran zu erinnern, dass der Erfolg des Sachs'schen Versuches über beschränkte Wirkung der Endplatten zwar nicht mit der ursprünglichen,

Fig. 50.




wohl aber mit der modificirten Hypothese vereinbar ist. Die von Hrn. Sachs selber angegebene Auskunft, dass bei stärkerer Reizung die Wirkung einer Endplatte vielleicht auf mehrere Fasern sich erstreckt hätte (s. oben S. 708), mussten wir zurückweisen, so lange wir symmetrische Stromvertheilung um die Endplatte im Auge hatten, wie die ursprüngliche Entladungshypothese sie voraussetzt, und unsere Figg. 45 und 46 sie darstellen. Anders bei jeder modificirten Entladungshypothese, welche asymmetrische Stromvertheilung der Art voraussetzt, dass die zugehörige Faser stärker getroffen wird, als die benachbarten. Dabei [556] ist sehr wohl möglich, dass minimale Reizung, wie sie im Sachs'schen Versuch allein anwendbar ist, eine auf die zugehörige Faser beschränkte Wirkung

erzeuge, bei stärkerer Reizung aber die Wirkung auch die Nachbarfasern ergreife.

Vielleicht liegt hier der Schlüssel zum Verständniss einer sonst schwer zu deutenden Anordnung. Nach Hrn. Reichert kommen auf eine Muskelfaser des Cutaneus pectoris etwa zwei Endplatten.[1] Nach Hrn. Kühne erhält jede Faser des Sartorius mehrere Endplatten, an beiden Enden bleiben Strecken von durchschnittlich 3 mm. Länge nervenlos.[2] Nach Hrn. Krause dagegen erhält jede Faser des Retractor bulbi der Katze, des Gracilis vom Frosche, nur eine Endplatte, aber der Nerv verbreitet sich am Retractor über mehr als die beiden mittleren Viertel, am Gracilis über das mittlere Drittel der Muskellänge.[3] Die Endplatten liegen also an den verschiedenen Fasern nicht in derselben Querebene des Muskels. Wirkte jede Endplatte nur auf eine Faser, so sieht man nicht ein, warum sie nicht alle dem Hilus möglichst nahe sich befinden, wodurch Nervenlänge gespart würde. Wirken aber die stärker erregten Endplatten auch auf die Nachbarfasern, so kann man dieser Anordnung einen Sinn unterlegen. Die Zusammenziehung besteht aus einer Reihe von Reizwellen, die von der gereizten Stelle aus nach beiden Richtungen längs der Faser laufen. Die Zusammenziehung wird also um so schneller eine gegebene Grösse erreichen und die Reizwellen werden bei einer um so kleineren Zahl von Reizungen in der Zeiteinheit zu stetigem Tetanus verschmelzen, an je mehr Stellen zugleich die Muskelfaser erregt wird. Unter der Voraussetzung, dass bei einem gewissen Grade der Reizung die Wirkung der Endplatten die Nachbarfasern ergreift, erklärt sich also, dass die Endplatten da, wo jede Faser deren nur eine erhält, in verschiedenen Querebenen liegen. Für jede Faser würden dadurch, ohne Vermehrung der Endplatten, die Ausgangspunkte der Reizwellen vermehrt, und es wäre so ein weiteres Mittel zur Abstufung [557] der Zuckungsstärke gegeben (s. oben S. 699. 700). Eine Schwierigkeit für diese Deutung scheint daraus zu entstehen, dass nach Hrn. Krause am Retractor bulbi der Katze die Endplatten benachbarter Fasern im Allgemeinen an nah benachbarten Stellen (in derselben Querebene) liegen.[4] Diese Schwierigkeit fällt jedoch fort, wenn man das mit Bezug auf einzelne Fasern Gesagte auf Gruppen von Fasern überträgt, deren Endplatten in derselben Querebene liegen.[5]

---

[1] Archiv für Anatomie u. s. w. 1851. S. 58.

[2] Monatsberichte der Akademie u. s. w. 1859. S. 395. — Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 565 ff.; — Ueber die peripherischen Endorgane u. s. w. S. 19. 20; — Stricker's Handbuch u. s. w. Bd. I. S. 153.

[3] A. a. O. S. 59. 76. 77. 99.

[4] A. a. O. S. 77.

[5] [Eine nochmalige Erörterung der hier angeregten Frage s. oben S. 571.]

Soweit wäre die modificirte Entladungshypothese fertig. Man kann freilich dagegen einwenden, dass die negative Schwankung des Nervenstromes zur Erregung der Muskelfaser nicht ausreiche. Es gelingt bekanntlich nicht, secundäre Zuckung vom Nerven aus auf anderem als elektrischem Wege, oder mit Ausschluss elektrotonischer Schwankungen, zu beobachten.[1] Ein querdurchschnittener Nerv, irgendwie mit einem Muskel in Berührung gebracht, lässt auch bei stärkster elektrischer Reizung den Muskel unerregt. Endlich die in einer Muskelfaser, oder einer Gruppe von Muskelfasern verlaufende Reizwelle wirkt nicht erregend auf die Nachbarfasern, wie sich dies in Hrn. Kühne's Versuch über centripetale Leitung motorischer Fasern am Sartorius,[2] und neuerlich wieder in Hrn. Sachs' Versuch über beschränkte Wirkung der Endplatten gezeigt hat.

Ich habe aber schon vor Jahren einsichtlich gemacht, dass in nächster Nähe elektromotorischer Molekeln, oder an der Grenze zwischen Längs- und Querschnitt, der Strom viel grösserer Wirkungen fähig sein kann, als in merklicher Entfernung von diesen Stellen grösster Dichte.[3] Bei keiner der erwähnten Anordnungen grenzt lebende unversehrte Nerven- oder Muskel- an lebende unversehrte Nerven- oder Muskelsubstanz. In den beiden ersten Fällen bleiben sie, abgesehen von Neurilemm, Perineurium, Perimysium und Sarkolemm noch durch abgestorbene Schichten getrennt. Der contractile Inhalt einer Muskelfaser ist von dem der Nachbarfasern [558] noch immer durch eine doppelte Sarkolemmdicke geschieden. In Hrn. Kühne's Versuch werden auch die intramusculären Nerven durch die Reizwelle nicht erregt. Dies scheint nicht auf ihrer geringeren Erregbarkeit zu beruhen, denn man erhält auch keine secundäre Zuckung, wenn man eine Reizwelle in einem Sartorius oder Gracilis erregt, dem das erregbare obere Ende des Ischiadicus anliegt. Czermak erhielt dagegen Zuckung, als er den Nerven des stromprüfenden Schenkels auf den idiomusculären Wulst an Säugethiermuskeln fallen liess.[4] Dies scheint zu zeigen, dass die Muskelreizwelle zur Erregung wenig geeignet ist. Dazu kommt, dass, wie gesagt, nach Hrn. Bernstein die negative Schwankung des Nervenstromes das Vielfache der ursprünglichen Stromkraft betragen kann, während die des Muskelstromes nur bis zum Verschwinden des Stromes reicht.

---

[1] Untersuchungen u. s. w. Bd. II. Abth. I. S. 532.

[2] Monatsberichte u. s. w. 1859. S. 400; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1859. S. 595 ff.

[3] Untersuchungen u. s. w. Bd. I. S. 689.

[4] Wiener Sitzungsberichte. 1857. Bd. XXIV. S. 510.

Ich glaube daher, dass die Möglichkeit der Erregung der contractilen Substanz durch die negative Schwankung des Nervenstromes nicht zu leugnen ist. Es lässt sich gegen die modificirte Entladungshypothese nun aber noch ein fundamentales Bedenken erheben.

Hr. Krause hält auch für die aus der Endplatte hervorgehenden Terminalfasern seine Behauptung aufrecht, dass bei Wirbelthieren die Endplatte ausserhalb des Sarkolemms liege. Er besteht darauf, dass das Eindringen der Terminalfasern durch das Sarkolemm nur Schein sei.[1] Wäre dies richtig, so bliebe, um die Einwirkung von Nerv auf Muskel zu verstehen, kein Ausweg als die modificirte Entladungshypothese (s. oben S. 700).

Hr. Krause steht jedoch mit seiner Behauptung ziemlich vereinzelt da. Die Mehrzahl der Forscher verlegt auch bei Wirbelthieren die Endplatten in das Sarkolemm. Lösen sich die Endplatten in Terminalfasern auf, so würden alsdann deren Enden die contractile Substanz unmittelbar berühren, wie wir es im Vorigen voraussetzten, und wie es in Fig. 50, mit Zugrundelegung der besonderen Verhältnisse bei Amphibien, gedacht ist. Damit fiele aber überhaupt die Nothwendigkeit fort, eine elektrische Einwirkung von Nerv auf Muskel anzunehmen. Was zu dieser Annahme drängte, [559] war gerade die Trennung von Nerv und Muskel durch die Endplatten. Nach deren Auflösung in Terminalfasern, welche die contractile Substanz berühren, kann man sich wieder denken, dass der unbekannte Molecularvorgang im Nerven, auf dem die Fortpflanzung des Reizes beruht, sich unmittelbar in die contractile Substanz fortsetze, wo er nur verschiedene Beschaffenheit annehme.

Dagegen ist wieder zu sagen, dass, da nach Hrn. Bernstein die negative Schwankung im Nerven mit derselben Geschwindigkeit fortschreitet, wie der Molecularvorgang der Reizung, die negative Schwankung vielleicht das Mittel ist, durch welches eine Querscheibe der Nervenfaser auf die nächstfolgenden wirkt, wie sie denn schliesslich das Mittel wäre, durch welches das Nervenende die contractile Substanz erregte. Sie kann aber ebenso gut nur äusseres Merkmal der Molecularveränderung sein.

Lässt man unmittelbare Fortsetzung des Molecularvorganges im Nerven auf die contractile Substanz zu, so entsteht die Frage, ob auch umgekehrt der Vorgang im Muskel sich auf die Nervensubstanz fortsetze, wenn eine unmittelbar erregte Reizwelle einer Endplatte vorbeiläuft. Es wird schwer sein, unzweideutige Spuren solchen Ueberganges nachzu-

---

[1] A. a. O. S. 75.

weisen, wenn er wirklich stattfindet. Schon jetzt mit Hrn. Kühne seinen Zipfelversuch am Sartorius als Beweis anzusehen, dass nichts der Art geschieht,[1] halte ich für gewagt. Man müsste wenigstens versuchen, von den nervenlosen Enden eines Sartorius oder Gracilis aus negative Schwankung des Stromes des Muskelnerven zu erregen. Aber auch wenn dieser schwierige Versuch gelänge, bliebe fraglich, ob die Schwankung nicht von elektrischer oder mechanischer Erregung durch die Reizwellen herrühre, oder ob sie nicht bloss von den sensiblen Muskelnerven ausgehe.[2]

Wie dem auch sei, physiologische Einerleiheit der Endplatten und elektrischen Platten lässt sich nach dem Allen nicht behaupten. Die Endplatten würden bestenfalls als Einrichtung erscheinen, um die negative Schwankung zu vervielfältigen und sie der contractilen [560] Substanz in einer grösseren Zahl von Punkten zuzuführen. Sie wären Auslösungsorgane gleich den Ganglienkugeln, und deshalb, gleich diesen, Sitz lebhafteren Stoffwechsels als die Nervenfaser. Hierauf bezieht sich vielleicht die Protoplasmamasse mit ihren Kernen, in welche die Axencylinder-Verzweigung eingebettet zu sein scheint, wie auch die Empfindlichkeit der Endplatten für Curara und Strychnin[3] auf lebhaften Verkehr mit dem Blute deutet. Damit ist nicht gesagt, dass nicht die Endplatten den elektrischen Platten nah verwandte Gebilde seien. Im Gegentheil, die elektrischen Platten sind vielleicht auch nur gangliöse Ausbreitungen, in welchen die negative Schwankung vervielfältigt wird.

Nützlicher, als solche Vermuthungen auszuspinnen, wird es sein, die Punkte ausdrücklich zu bezeichnen, auf welche fernere Untersuchungen sich zu richten haben werden. Die Hauptaufgabe fällt der Histologie zu. Die Anschauung der Endplatte als einer Axencylinder-Verzweigung muss entweder widerlegt, oder über jeden Zweifel erhoben werden. Ist sie richtig, so kann es sich nur noch um Entscheidung zwischen der modificirten Entladungshypothese in der einen oder anderen Gestalt und der Hypothese eines unmittelbar von Nerv auf Muskel sich fortsetzenden unbekannten Molecularvorganges handeln. Erweist sie sich als Täuschung, so ist deshalb die ursprüngliche Entladungshypothese noch nicht gerettet, geschweige bewiesen. Diese Hypothese zu retten, wäre dann noch dreierlei nöthig: 1. Deutung der zwei Substanzen der Endplatten, und Deutung

---

[1] Virchow's Archiv u. s. w. 1864. Bd. XXIX. S. 448; — Bd. XXX. S. 219. Anm.; — Stricker's Handbuch u. s. w. Bd. I. S. 164.

[2] Vergl. Sachs, Physiologische und anatomische Untersuchungen über die sensiblen Nerven der Muskeln. Im Archiv für Anatomie u. s. w. 1874. S. 175.

[3] Vergl. Roeber im Archiv für Anatomie u. s. w. 1870. S. 617.

der Froschendplatte, in Uebereinstimmung mit der Hypothese; 2. Widerlegung von Hrn. SACHS' Versuch über die beschränkte Wirkung der Endplatten; 3. Widerlegung von Hrn. MAREY's Beobachtung eines Stadiums latenter Reizung am Zitterrochenorgan. Die ursprüngliche Hypothese zu beweisen, bliebe dann noch immer die schwierige Aufgabe der Zukunft.

---

## Zusatz.

[Die seit der 'Experimentalkritik' veröffentlichten Arbeiten BABUCHIN's über Bau und Entwickelung der elektrischen und pseudoëlektrischen Organe[1] lassen die morphologische Grundlage der Entladungshypothese noch unsicherer erscheinen, als sie oben S. 701 ff. 727 dargestellt wurde. Hr. BABUCHIN unterscheidet an den Elementarorganen, die ein elektrisches Organ zusammensetzen, zwei Glieder: ein *nervöses* und ein aus Muskel entstandenes, *metasarkoblastisches* Glied. Beim Zitterrochen ist das nervöse Glied die Endverzweigung des elektrischen Nerven oder das Pseudonetz, das metasarkoblastische Glied ist die sonst so genannte elektrische Platte. Beim Zitterwelse lässt Hr. BABUCHIN den Axencylinder dem Stiele des elektrischen Endkörpers (der elektrischen Platte BILHARZ' und M. SCHULTZE's, s. oben S. 603. 621) sich nur anlegen. Da die motorische Endplatte Hrn. BABUCHIN wesentlich auch nur Endverzweigung eines Axencylinders ist, so ist sie ihm auch einerlei mit dem Trugnetze beim Zitterrochen, ja mit der den Endkörper berührenden terminalen Nervenfaser beim Zitterwelse, nicht aber, was Hrn. KRAUSE's ursprünglicher Gedanke war, mit dem Endkörper oder der sonst so genannten elektrischen Platte selber bei letzterem Fische. Diese Platte mit ihrem Stiel, ebenso die Platte beim Zitterrochen, entsprächen vielmehr der contractilen Substanz des Muskels, und der Zitterfischschlag wieder, wie vor der Entladungshypothese, der Muskelzusammenziehung. Der Vergleich der motorischen Endplatte mit der elektrischen Platte wäre somit ganz verfehlt gewesen, und nur die modificirte Entladungshypothese würde durch diese veränderte Auffassung nicht berührt, denn die negative Schwankung könnte überall, im Muskel wie im elektrischen Organe, das auslösende Mittelglied abgeben.

Noch in einem Punkte werden unsere obigen Betrachtungen durch Hrn. BABUCHIN's grundlegende Ermittelungen beeinflusst. S. 722 nahmen

---

[1] [Centralblatt für die medicinischen Wissenschaften. 1875. S. 129. 145. 161; — Archiv für Anatomie u. s. w. 1876. S. 503 ff.]

wir an, das Organ eines grösseren Fisches sei gliederreicher, oder besitze in Richtung des Schlages mehr Platten hintereinander, als das eines kleineren. Nach Hrn. Babuchin ist aber bei Zitterwels und Zitterrochen die Plattenzahl von der Grösse des Fisches unabhängig.[1] Dass grössere Fische stärker schlagen, lässt sich dann noch auf zweierlei Art erklären: 1. dadurch, dass bei proportionalem Wachsthume des Organes nach allen Richtungen der Querschnitt schneller wächst, als die Länge; 2. dadurch, dass die elektromotorische Kraft der einzelnen Platten mit ihrer Dicke wachse. A. a. O. nahmen wir aber auch an, dass die Dichte des Schlages im Organe mit der Grösse des Fisches wachse. Beruhte die grössere Stärke des Schlages grösserer Fische nur auf grösserem Querschnitt ihres Organes, so wäre die Dichte im Organe selber kleiner. Unsere Annahme bedingt daher, dass die Kraft der Platten mit ihrer Dicke wachse. Formell ist dies dasselbe, wie wenn die Zahl der Platten wüchse. Denkt man sich in dickeren Platten mehr elektromotorische Molekeln hintereinander gelegen (s. oben S. 672), so wäre das längere Organ auch wirklich gliederreicher.]

---

[1] [Centralblatt u. s. w. A. a. O. S. 164.]

# Register.

---

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.



Das Pluszeichen bedeutet auf-, das Minuszeichen absteigende Richtung des Stromes im Muskel.

**Tabelle I.** (S. 95.)

| Elektromotorische Kräfte in Compensatorgraden. | | | Querschnitt senkrecht. 0 | 1 | 2 | 3 | | Querschnitt schräg. 0 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. int. | Ob. Kr. | A. | −219 | −343 | −368 | −289 | C. | −159 | −159 | −138 | −106 |
| | Unt. Kr. | B. | +452 | +461 | +371 | +159 | D. | +219 | +218 | +137 | +99 |
| Sartor. | Ob. Kr. | A. | −402 | −403 | −401 | −377 | C. | −304 | −301 | −263 | −281 |
| | Unt. Kr. | B. | +385 | +304 | +314 | +272 | D. | +348 | +309 | +353 | +220 |
| Add. m. | Ob. Kr. | A. | −445 | −423 | −373 | −445 | C. | −296 | −244 | −203 | −245 |
| | Unt. Kr. | B. | +408 | +365 | +392 | +375 | D. | +267 | +312 | +328 | +226 |
| Semim. | Ob. Kr. | A. | −392 | −411 | −398 | −369 | C. | −340 | −372 | −379 | −302 |
| | Unt. Kr. | B. | +395 | +400 | +431 | +436 | D. | +443 | +334 | +291 | +332 |
| Mittel der absol. Werthe | | | 387·3 | 388·8 | 381·0 | 340·3 | | 297·0 | 281·1 | 261·5 | 226·3 |

**Tabelle II.** (S. 95.)

| Elektromotorische Kräfte in Compensatorgraden. | | | Querschnitt senkrecht. | schräg. | senkrecht. | schräg. | senkrecht. | schräg. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. intern. | A. | Ob. Kr. | −240 | −90 | −186 | −119 | −114 | −42 |
| | B. | Unt. Kr. | +206 | +136 | +147 | +134 | +117 | +59 |
| Sartor. | A. | Ob. Kr. | −339 | −246 | −270 | −175 | −190 | |
| | B. | Unt. Kr. | +293 | +250 | +317 | +298 | +301 | |
| Add. m. | A. | Ob. Kr. | −249 | −108 | −179 | −158 | | |
| | B. | Unt. Kr. | +284 | +278 | +408 | +225 | | |
| Semim. | A. | Ob. Kr. | −402 | −323 | −351 | −228 | | |
| | B. | Unt. Kr. | +330 | +304 | +357 | +241 | | |
| Mittel der absol. Werthe | | | 292·9 | 216·9 | 276·9 | 197·3 | 180·5 | 50·5 |

**Tabelle III.** (S. 142–145; 155; 178.)

| Gastroknemius | | | I. Vor | I. Nach | II. Vor | II. Nach | III. Vor | III. Nach | IV. Vor | IV. Nach | V. Vor | V. Nach |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Elektromotorische Kräfte in Compensatorgraden. | | | Zerstörung der parelektronomischen Schicht. | | | | | | | | | |
| Zwischen sehnigen Enden | | | −67 | | +19 | | +44 | | +99 | | +208 | |
| Muskel durch zwei symmetrische Querschnitte begrenzt. | Obere Strom-kraft | Grösste Spannweite | −130 | −78 | −249 | +181 | −213 | +143 | −242 | +117 | −153 | +210 |
| | | Mittlere Spannweite | −84 | −15 | −328 | −5 | −310 | −26 | −245 | −92 | −196 | −81 |
| | | Kleinste Spannweite | −31 | −14 | −231 | −169 | −220 | −90 | −172 | −151 | −153 | −146 |
| | | Mittel | −81·7 | −35·7 | −269·3 | +2·3 | −247·7 | +9·0 | −219·7 | −42·0 | −167·3 | −5·7 |
| | Untere Strom-kraft | Grösste Spannweite | −9 | +57 | +237 | +621 | +244 | +483 | +348 | +640 | +259 | +696 |
| | | Mittlere Spannweite | +35 | +48 | +324 | +501 | +364 | +511 | +315 | +499 | +279 | +614 |
| | | Kleinste Spannweite | +79 | +92 | +252 | +357 | +268 | +219 | +259 | +286 | +255 | +293 |
| | | Mittel | +35·0 | +65·7 | +271·0 | +493·0 | +292·0 | +404·3 | +307·3 | +475·0 | +264·3 | +534·3 |
| | Zwischen künstl. Querschn. | | −56 | +32 | −17 | +316 | +19 | +265 | +69 | +361 | +118 | +396 |

**Tabelle VII.** (S. 169. 170.)

| Stromstärken in Scalentheilen. | Muskel durch zwei symmetrische Querschnitte begrenzt, durchschnitten im | I. A. | I. B. | II. A. | II. B. | III. A. | III. B. | IV. A. | IV. B. | V. A. | V. B. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Aequator. | | | | | | Hilus. | | | |
| R. int. | Unzertheilter Muskel. {Ob. Abschn. / Unt. Abschn.} zwischen d. beiden Querschn. | +10 {+5 / +15} | −7 {+18 / −7} | +31 {+8 / +11} | +6 {+5 / −10} | +14 {+14 / +7} | −6 {0 / +7} | −3 {+14 / −14} | −2 {+7 / +8} | +15 {+8 / −1} | +13 {+5 / +4} |
| Sartorius | Unzertheilter Muskel. {Ob. Abschn. / Unt. Abschn.} zwischen d. beiden Querschn. | −5 {+1 / −17} | −3 {−14 / +1} | +13 {−4 / +11} | +1 {+5 / +14} | +16 {−11 / −4} | +30 {−2 / −12} | −25 {−14 / −11} | −5 {−8 / −17} | +21 {−14 / −2} | +5 {−4 / +9} |
| Add. m. | Unzertheilter Muskel. {Ob. Abschn. / Unt. Abschn.} zwischen d. beiden Querschn. | +23 {+17 / +63} | +38 {+15 / +22} | +29 {−18 / +44} | −22 {−45 / +103} | −36 {−12 / +81} | −5 {−21 / +67} | −18 {+9 / +45} | −1 {0 / +44} | +7 {−20 / +60} | −22 {−35 / +67} |
| Semim. | Unzertheilter Muskel. {Ob. Abschn. / Unt. Abschn.} zwischen d. beiden Querschn. | −41 {−14 / −18} | −51 {+12 / −63} | −71 {−3 / −36} | −59 {−22 / +33} | −11 {+24 / −37} | −85 {−36 / −50} | −70 {−6 / −53} | −79 {+7 / −67} | −30 {+3 / −2} | −74 {+11 / −50} |

**Tabelle IX.** (S. 171. 172.)

| Stromstärken in Scalenth. | Muskel durch zwei symmetr. Querschnitte begrenzt. | I. A. | I. B. | II. A. | II. B. | III. A. | III. B. | IV. A. | IV. B. | V. A. | V. B. | Mittel. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. int. | Zwischen symmetr. Längsschnittsp. {Ob. Str. / Unt. Str.} | −12 {−69 / +69} | +3 {−88 / +131} | +37 {−68 / +113} | −35 {−74 / +154} | −13 {−25 / +34} | −4 {−30 / +84} | +61 {−122 / +103} | −18 {−73 / +81} | −6 {−39 / +83} | +29 {−124 / +134} | +4·2 {−71·2 / +98·6} |
| Sartor. | Zwischen symmetr. Längsschnittsp. {Ob. Str. / Unt. Str.} | −20 {−267 / +188} | −13 {−224 / +226} | +21 {−157 / +158} | −24 {−164 / +209} | +36 {−199 / +171} | −63 {−145 / +255} | +69 {−239 / +160} | −2 {−171 / +134} | +30 {−88 / +83} | −35 {−176 / +179} | −0·1 {−183·0 / +176·3} |
| Add. m. | Zwischen symmetr. Längsschnittsp. {Ob. Str. / Unt. Str.} | +27 {−299 / +233} | +8 {−346 / +336} | +25 {−365 / +314} | −30 {−250 / +314} | +35 {−268 / +240} | −2 {−210 / +276} | +20 {−335 / +266} | 0 {−269 / +285} | +11 {−183 / +115} | +5 {−289 / +235} | +9·9 {−281·4 / +261·4} |
| Semim. | Zwischen symmetr. Längsschnittsp. {Ob. Str. / Unt. Str.} | −1 {−314 / +197} | −4 {−397 / +261} | −30 {−347 / +256} | +9 {−381 / +269} | −20 {−340 / +245} | −31 {−313 / +200} | +10 {−408 / +222} | −1 {−350 / +264} | −18 {−217 / +153} | +10 {−272 / +167} | −7·6 {−333·9 / +223·4} |

**Tabelle X.** (S. 142–145; 157. 158; 172. 173; 175; 178. 179.)

| Elektrom. Kräfte in Compensatorgraden. | Muskel durch zwei symmet. Querschnitte begrenzt. | I. A. | | I. B. | | II. A. | | II. B. | | III. A. | | III. B. | | IV. A. | | IV. B. | | V. A. | | V. B. | | Mittel. | | Verhältniss der Mittel. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. intern. | Obere Kraft | −104 | | −174 | | −107 | | −72 | | −50 | | −339 | | −167 | | −298 | | −94 | | −132 | | −153·7 | | −1·000 | |
| | Untere Kraft | +172 | | +263 | | +99 | | +145 | | +154 | | +213 | | +233 | | +435 | | +98 | | +216 | | +202·8 | | +1·319 | |
| Sartorius | Obere Kraft | −322 | | −351 | | −168 | | −176 | | −332 | | −368 | | −376 | | −424 | | −211 | | −302 | | −303·0 | | −1·030 | |
| | Untere Kraft | +346 | | +329 | | +171 | | +177 | | +284 | | +311 | | +405 | | +447 | | +215 | | +257 | | +294·2 | | +1·000 | |
| Add. m. | Obere Kraft | −371 | | −356 | | −222 | | −374 | | −414 | | −423 | | −445 | | −463 | | −315 | | −382 | | −376·5 | | −1·007 | |
| | Untere Kraft | +374 | | +411 | | +246 | | +341 | | +371 | | +408 | | +433 | | +448 | | +333 | | +375 | | +374·0 | | +1·000 | |
| Semim. | Obere Kraft | −420 | | −448 | | −260 | | −341 | | −433 | | −404 | | −522 | | −459 | | −376 | | −441 | | −410·4 | | −1·123 | |
| | Untere Kraft | +423 | | +348 | | +234 | | +306 | | +374 | | +334 | | +444 | | +371 | | +348 | | +371 | | +365·3 | | +1·000 | |
| | Parel. Schicht | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. | un-zerst. | zerst. |
| Triceps | Obere Kraft | −263 | −136 | −317 | −214 | −165 | −87 | −287 | −73 | −139 | +36 | −336 | −141 | −319 | −53 | −324 | −107 | −181 | −57 | −122 | −70 | −245·3 | −97·4 | −1·000 | −1·000 |
| | Untere Kraft | +282 | +310 | +318 | +267 | +216 | +233 | +321 | +210 | +284 | +168 | +262 | +172 | +172 | +180 | +240 | +307 | +317 | +296 | +167 | +237 | +257·9 | +238·0 | +1·051 | +2·444 |
| Gastrokn. | Obere Kraft | −218 | −69 | −214 | +45 | −176 | −120 | −58 | −22 | −161 | +59 | −243 | +74 | −298 | −77 | −287 | +38 | −97 | −46 | −167 | −131 | −191·9 | −33·9 | −1·000 | −1·000 |
| | Untere Kraft | +342 | +567 | +309 | +518 | +345 | +461 | +260 | +464 | +272 | +382 | +299 | +421 | +367 | +543 | +372 | +435 | +403 | +482 | +346 | +541 | +331·5 | +481·4 | +1·727 | +14·121 |

**Tabelle IV.** (S. 158—162; 168. 169; 170—178.)

| Stromstärken in Scalentheilen. | Muskel unversehrt. | | | | Muskel durch zwei künstliche Querschnitte begrenzt. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Zwischen sehnigen Enden. | Zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten. | Zwischen Aequator u. Längsschnittspunkt dem unteren / oberen sehnigen Ende nahe. | Unterer / Oberer natürlicher Strom. | Zwischen symmetrischen Querschnitten. | Zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten. | Zwischen Aequator u. Längsschnittspunkt dem unteren / oberen künstlichen Querschnitt nahe. | Unterer / Oberer künstlicher Strom. |
| | Rectus internus. | | | | | | | |
| I. A. | +17 | −5 | +7 / +26 | −1 / +28 | +29 | −11 | −2 / +36 | −42 / +136 |
| I. B. | +6 | +7 | +2 / +20 | −6 / +32 | +28 | +3 | −24 / +24 | −52 / +118 |
| II. A. | +2 | −61 | −16 / +9 | −11 / +23 | +7 | −56 | −34 / +22 | −56 / +116 |
| II. B. | −14 | −4 | −26 / +17 | −33 / +21 | +33 | −6 | −28 / +27 | −71 / +172 |
| III. A. | −10 | +27 | −5 / +17 | −35 / +21 | +16 | +27 | +8 / +26 | −47 / +89 |
| III. B. | −7 | +32 | +12 / −21 | −12 / +3 | +23 | +25 | +21 / +22 | −21 / +63 |
| IV. A. | −11 | −9 | −12 / −2 | −24 / +12 | −2 | −15 | −23 / 0 | −36 / +29 |
| IV. B. | −16 | −24 | −8 / −30 | −17 / −15 | +23 | −21 | −3 / −2 | −18 / +48 |
| V. A. | +7 | +20 | +2 / +11 | −3 / +18 | +11 | +18 | −14 / +13 | −42 / +103 |
| V. B. | +8 | +4 | +4 / +10 | −3 / +19 | +28 | +19 | −8 / +35 | −48 / +84 |
| Mittel | −1·8 | −1·3 | −4·0 / +5·7 | −14·5 / +16·2 | +19·6 | −1·7 | −10·7 / +20·3 | −43·3 / +95·8 |
| | Sartorius. | | | | | | | |
| I. A. | −11 | +18 | −16 / +23 | −32 / +23 | −10 | −10 | −60 / −40 | −218 / +230 |
| I. B. | −28 | −17 | −35 / 0 | −63 / +4 | −17 | −19 | −59 / +22 | −244 / +211 |
| II. A. | −11 | −16 | −16 / −4 | −21 / +2 | −19 | −15 | −86 / +42 | −242 / +247 |
| II. B. | −8 | −24 | −16 / −5 | −18 / −2 | −11 | −22 | −48 / +39 | −237 / +208 |
| III. A. | −16 | −14 | +28 / −21 | +15 / −19 | +13 | −38 | −31 / +24 | −82 / +121 |
| III. B. | −31 | +13 | +16 / −8 | −57 / +2 | +5 | +13 | −40 / +14 | −141 / +141 |
| IV. A. | 0 | +33 | −12 / +23 | −26 / +21 | −3 | +34 | −3 / +12 | −99 / +96 |
| IV. B. | −18 | −1 | 0 / −21 | −10 / −17 | −16 | 0 | −38 / +14 | −104 / +101 |
| V. A. | −30 | −6 | −28 / −9 | −57 / +6 | +9 | −7 | −52 / +38 | −225 / +265 |
| V. B. | −33 | −9 | −43 / −33 | −48 / −8 | −7 | −15 | −31 / +25 | −122 / +160 |
| Mittel | −18·6 | −2·3 | −12·2 / −5·5 | −27·8 / +1·2 | −5·6 | −7·9 | −44·8 / +27·0 | −171·4 / +178·0 |
| | Adductor magnus. | | | | | | | |
| I. A. | −13 | +27 | −32 / +31 | −77 / +54 | −80 | +18 | −35 / +57 | −374 / +332 |
| I. B. | +1 | +14 | −37 / +30 | −62 / +50 | −22 | +12 | −59 / +87 | −328 / +381 |
| II. A. | −16 | −4 | −44 / +13 | −56 / +41 | −18 | −11 | −83 / +41 | −404 / +408 |
| II. B. | −9 | −8 | −13 / +10 | −42 / +32 | −5 | −1 | −59 / +54 | −383 / +395 |
| III. A. | +1 | −5 | −25 / +22 | −68 / +76 | −10 | −2 | −63 / +82 | −287 / +333 |
| III. B. | +3 | +10 | −33 / +29 | −82 / +102 | −46 | +3 | −55 / +55 | −310 / +254 |
| IV. A. | −5 | +29 | −21 / +15 | −45 / +49 | +12 | +36 | −26 / +62 | −290 / +272 |
| IV. B. | +30 | +40 | −8 / +83 | −42 / +112 | −1 | +19 | −24 / +71 | −296 / +267 |
| V. A. | −7 | −6 | −53 / +17 | −78 / +44 | +5 | −25 | +83 / +77 | −335 / +311 |
| V. B. | −24 | −8 | −35 / +11 | −64 / +27 | −27 | −7 | −51 / +76 | −344 / +325 |
| Mittel | −3·9 | +8·9 | −30·1 / +26·1 | −61·6 / +58·7 | −19·2 | +6·7 | −37·2 / +66·2 | −335·1 / +327·8 |
| | Semimembranosus. | | | | | | | |
| I. A. | −6 | +24 | −19 / +61 | −49 / +53 | −37 | +5 | −35 / +37 | −313 / +226 |
| VI. A. | −54 | +20 | −25 / +46 | −77 / +33 | −25 | +5 | −87 / +31 | −330 / +208 |
| II. A. | −42 | −6 | −32 / +2 | −76 / 0 | −69 | −9 | −35 / +17 | −371 / +234 |
| VI. B. | −50 | +13 | −33 / +21 | −159 / +19 | −54 | −20 | −86 / +37 | −308 / +209 |
| III. A. | −14 | −15 | −14 / −16 | −62 / −13 | −49 | −1 | −28 / +18 | −295 / +233 |
| III. B. | −51 | −4 | −65 / +43 | −112 / +35 | −23 | −4 | −22 / +18 | −262 / +224 |
| IV. A. | −10 | +4 | −95 / +34 | −150 / +68 | −6 | +7 | −39 / +29 | −293 / +204 |
| IV. B. | −52 | +14 | −39 / +58 | −133 / +39 | −44 | +5 | −95 / +18 | −246 / +177 |
| V. A. | −59 | +1 | −47 / +46 | −127 / +39 | +12 | −4 | −42 / +43 | −375 / +289 |
| VII. A. | −4 | +30 | −41 / +62 | −82 / +60 | −27 | +4 | −53 / +98 | −377 / +298 |
| Mittel | −34·2 | +8·1 | −41·0 / +35·7 | −94·5 / +33·3 | −32·2 | −1·2 | −52·2 / +34·1 | −317·0 / +230·2 |

**Tabelle V.** (S. 158—165.)

| Stromstärken in Scalentheilen. | Parelektronomische Schicht unzerstört. | | | | Parelektronomische Schicht zerstört. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Zwischen sehnigen Enden. | Zwischen symmetrischen Längsschnittspunkten. | Zwischen Aequator u. Längsschnittspunkt dem unteren / oberen sehnigen Ende nahe | Unterer / Oberer natürlicher Strom | Derselbe / Derselbe nach einem Kochsalzbade. | Zuwachs durch Zerstörung der parelektronomischen Schicht. | Zwischen sehnigen Enden. |
| | Rectus internus. | | | | | | |
| I. A. | −7 | −7 | −13 / −9 | −27 / +20 | −22 / +21 | +5 / +1 | −1 |
| I. B. | −32 | −2 | −12 / −21 | −34 / −2 | −47 / +25 | −13 / +27 | −16 |
| II. A. | −19 | −14 | −5 / −10 | −23 / −1 | −19 / +11 | +4 / +12 | −4 |
| II. B. | +28 | +60 | +47 / +16 | +23 / +11 | −14 / +47 | −37 / +36 | +6 |
| III. A. | +15 | +2 | −2 / −6 | −6 / +29 | −26 / +45 | −20 / +16 | −1 |
| III. B. | +1 | +10 | +17 / +3 | −4 / +14 | −21 / +21 | −17 / +7 | −3 |
| IV. A. | +14 | −10 | +6 / −2 | 0 / +26 | −25 / +32 | −25 / +6 | −12 |
| IV. B. | −18 | +25 | +14 / +18 | −20 / 0 | −37 / +34 | −17 / +34 | −2 |
| V. A. | +15 | +17 | +16 / +51 | +3 / +30 | −52 / +95 | −55 / +65 | +21 |
| V. B. | −13 | −7 | −3 / −18 | −44 / +25 | −50 / +23 | −6 / −2 | −8 |
| Mittel | −1·6 | +7·4 | +6·5 / +2·2 | −13·2 / +15·2 | −31·3 / +35·4 | −18·1 / +20·2 | −2·0 |
| | Sartorius. | | | | | | |
| I. A. | −25 | −31 | −27 / +30 | −43 / −14 | −89 / +51 | −46 / +65 | −4 |
| I. B. | −52 | +12 | −11 / −7 | −74 / −11 | −116 / +83 | −42 / +94 | −9 |
| II. A. | −3 | +47 | −37 / +63 | −84 / +74 | −67 / +88 | +17 / +14 | +29 |
| II. B. | +25 | +5 | −2 / +21 | −23 / +41 | −43 / +49 | −20 / +8 | +13 |
| III. A. | −4 | +24 | +21 / +13 | −23 / +2 | −24 / +20 | −1 / +18 | +4 |
| III. B. | +16 | −1 | −15 / +107 | −57 / +91 | −89 / +64 | −32 / −27 | −11 |
| IV. A. | −4 | +33 | −26 / +16 | −14 / −10 | −27 / +46 | −13 / +56 | +23 |
| IV. B. | −45 | −67 | −54 / −23 | −67 / +9 | −47 / +58 | +20 / +49 | +18 |
| V. A. | −5 | +45 | −31 / +67 | −89 / +65 | −105 / +98 | −16 / +33 | −9 |
| V. B. | −50 | +18 | −11 / +40 | −75 / +13 | −70 / +31 | +5 / +18 | −17 |
| Mittel | −14·7 | +8·5 | −19·3 / +32·7 | −54·9 / +26·0 | −67·7 / +58·8 | −12·8 / +32·8 | +3·7 |
| | Adductor magnus. | | | | | | |
| I. A. | −47 | +14 | −11 / −22 | −94 / +22 | −130 / +118 | −36 / +96 | −7 |
| I. B. | +12 | +13 | −49 / +34 | −88 / +150 | −126 / +195 | −38 / +45 | +62 |
| II. A. | +25 | +3 | −54 / +60 | −66 / +90 | −88 / +138 | −22 / +48 | +8 |
| II. B. | −25 | −15 | −130 / +60 | −209 / +136 | −179 / +213 | +30 / +77 | +42 |
| III. A. | +41 | +57 | +21 / +49 | −20 / +69 | −134 / +182 | −114 / +113 | +57 |
| III. B. | −6 | +12 | −80 / +15 | −112 / +92 | −169 / +202 | −57 / +110 | +64 |
| IV. A. | −53 | −8 | −40 / +22 | −134 / +46 | −150 / +184 | −16 / +138 | +49 |
| IV. B. | +58 | +34 | +28 / +84 | −21 / +141 | −115 / +146 | −94 / +5 | +96 |
| V. A. | +38 | +26 | −9 / +42 | −56 / +166 | −119 / +171 | −63 / +105 | +61 |
| V. B. | −8 | +22 | −19 / +19 | −49 / +36 | −112 / +141 | −63 / +5 | −5 |
| Mittel | +3·5 | +14·8 | −34·3 / +26·3 | −84·9 / +94·8 | −132·2 / +170·0 | −47·3 / +75·2 | +42·7 |
| | Semimembranosus. | | | | | | |
| I. A. | −18 | −21 | −8 / −2 | −74 / +32 | −109 / +84 | −35 / +52 | −13 |
| VI. A. | −43 | −17 | −149 / +19 | −187 / +89 | −221 / +114 | −34 / +25 | −64 |
| II. A. | −44 | +17 | −23 / +12 | −184 / +37 | −147 / +63 | +37 / +26 | −29 |
| II. B. | −3 | +45 | −128 / +82 | −201 / +124 | −216 / +120 | −15 / −4 | −57 |
| III. A. | −5 | +76 | −41 / +35 | −179 / +101 | −158 / +110 | +21 / +9 | −5 |
| III. B. | +14 | +32 | −25 / +63 | −111 / +103 | −176 / +85 | −65 / −18 | −71 |
| IV. A. | −21 | −8 | −37 / +8 | −92 / +5 | −177 / +69 | −85 / +64 | −30 |
| IV. B. | −32 | +1 | −64 / +14 | −136 / +16 | −209 / +61 | −79 / +45 | −29 |
| V. A. | +33 | +10 | −60 / +12 | −67 / +81 | −87 / +96 | −20 / +15 | +1 |
| V. B. | −29 | −12 | −34 / −36 | −72 / −4 | −114 / +67 | −42 / +71 | −9 |
| Mittel | −15.1 | +12·3 | −56·9 / +20·7 | −129·7 / +58·4 | −161·4 / +86·9 | −31·7 / +28·5 | −30·6 |

**Tabelle VI.** (S. 158. 159; 168—170; 172.)

| Stromstärken in Scalentheilen. | Zwischen sehnigen Enden. | Unterer / Oberer künstlicher Strom. | Zwischen symmetrischen Querschnitten I. | II. | III. | IV. | V. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Rectus internus. | | | | | | |
| I. A. | 0 | −16 / +24 | +1 | −4 | −7 | −7 | |
| I. B. | 0 | −52 / +77 | +12 | +13 | 0 | +1 | −3 |
| II. A. | −23 | −48 / +77 | −7 | +4 | +15 | +2 | −10 |
| II. B. | −9 | −56 / +77 | −8 | +26 | +3 | +11 | 0 |
| III. A. | −6 | −43 / +51 | +1 | +10 | −6 | −2 | |
| III. B. | −10 | −38 / +68 | +3 | +13 | +17 | +14 | −5 |
| IV. A. | −4 | −33 / +53 | +5 | +2 | +4 | −8 | |
| IV. B. | −14 | −23 / +69 | +24 | +5 | +6 | −4 | −11 |
| V. A. | −2 | −52 / +72 | +10 | +8 | +10 | +18 | +10 |
| V. B. | −16 | −62 / +68 | −8 | +2 | +3 | −7 | |
| Mittel | −8·4 | −42·3 / +63·6 | +3·3 | +7·9 | +4·5 | +1·8 | −3·1 |
| | Sartorius. | | | | | | |
| I. A. | +15 | −106 / +102 | −15 | +30 | +5 | +10 | +4 |
| I. B. | −52 | −167 / +107 | +21 | −4 | −9 | +13 | −13 |
| II. A. | −29 | −202 / +173 | +4 | −14 | +28 | −2 | +18 |
| II. B. | +11 | −154 / +109 | −14 | −2 | +4 | +9 | −12 |
| III. A. | +6 | −171 / +182 | +3 | −14 | −17 | −17 | −16 |
| III. B. | −12 | −208 / +207 | +5 | +3 | −12 | +24 | |
| IV. A. | −45 | −126 / +135 | −12 | −1 | +2 | −6 | |
| IV. B. | −17 | −126 / +133 | −6 | +7 | +11 | −12 | |
| V. A. | −10 | −148 / +145 | +2 | 0 | 0 | +2 | 0 |
| V. B. | −3 | −210 / +140 | −14 | −10 | +27 | | |
| Mittel | −13·6 | −161·8 / +143·3 | −2·6 | −0·5 | +3·9 | +2·4 | −3·1 |
| | Adductor magnus. | | | | | | |
| I. A. | +29 | −213 / +238 | −5 | −35 | −43 | −47 | |
| I. B. | −36 | −285 / +304 | −6 | +50 | +10 | +6 | |
| II. A. | +35 | −316 / +296 | −43 | −57 | −73 | −6 | |
| II. B. | +27 | −373 / +354 | −51 | −48 | −45 | −35 | |
| III. A. | +33 | −203 / +223 | −25 | −10 | 0 | −5 | |
| III. B. | +12 | −249 / +235 | −16 | +2 | −12 | | |
| IV. A. | +57 | −252 / +247 | −31 | −3 | −10 | −13 | |
| IV. B. | +40 | −244 / +251 | −31 | −55 | −36 | −19 | |
| V. A. | +42 | −274 / +216 | −12 | −5 | −21 | −55 | |
| V. B. | −5 | −304 / +270 | −3 | −3 | −44 | −40 | |
| Mittel | +23·4 | −271·3 / +263·4 | −22·3 | −16·4 | −28·4 | −24·0 | |
| | Semimembranosus. | | | | | | |
| I. A. | | −270 / +178 | −47 | −57 | −39 | −33 | |
| I. B. | −44 | −272 / +186 | −15 | −28 | −17 | −6 | |
| II. A. | | −272 / +223 | −23 | −38 | −51 | −25 | |
| II. B. | −10 | −338 / +212 | −69 | −50 | −33 | −43 | |
| III. A. | −25 | −295 / +193 | −30 | −15 | −31 | −20 | |
| III. B. | −6 | −284 / +209 | −37 | −10 | −18 | −3 | |
| IV. A. | | −264 / +205 | −30 | −19 | −33 | | |
| IV. B. | −37 | −268 / +197 | −38 | −9 | −20 | | |
| V. A. | | −261 / +183 | −45 | −49 | −26 | −48 | |
| V. B. | −19 | −293 / +224 | −33 | −28 | −33 | −65 | |
| Mittel | −23·5 | −281·6 / +201·0 | −36·7 | −30·3 | −31·1 | −30·4 | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. A. | −6 | +24 | −19<br>+61 | −49<br>+53 | −37 | +5 | −35<br>+37 | −313<br>+226 |
| VI. A. | −54 | +20 | −25<br>+46 | −77<br>+33 | −25 | +5 | −87<br>+31 | −330<br>+208 |
| II. A. | −42 | −6 | −32<br>+2 | −76<br>0 | −69 | −9 | −35<br>+17 | −371<br>+234 |
| VI. B. | −50 | +13 | −33<br>+21 | −159<br>+19 | −54 | −20 | −86<br>+37 | −308<br>+209 |
| III. A. | −14 | −15 | −14<br>−16 | −62<br>−13 | −49 | −1 | −28<br>+18 | −295<br>+233 |
| III. B. | −51 | −4 | −65<br>+43 | −112<br>+35 | −23 | −4 | −22<br>+18 | −262<br>+224 |
| IV. A. | −10 | +4 | −95<br>+34 | −150<br>+68 | −6 | +7 | −39<br>+29 | −293<br>+204 |
| IV. B. | −52 | +14 | −39<br>+58 | −133<br>+39 | −44 | +5 | −95<br>+18 | −246<br>+177 |
| V. A. | −59 | +1 | −47<br>+46 | −127<br>+39 | +12 | −4 | −42<br>+43 | −375<br>+289 |
| VII. A. | −4 | +30 | −41<br>+62 | −82<br>+60 | −27 | +4 | −53<br>+98 | −377<br>+298 |
| Mittel | −34·2 | +8·1 | −41·0<br>+35·7 | −94·5<br>+33·3 | −32·2 | −1·2 | −52·2<br>+34·1 | −317·0<br>+230·2 |

Anhang: Mittel aus allen gleichbedeutenden Versuchen in Tab. IV—VII. u. IX. (S. 177. 178.)

| Zahl der Versuche. | (30) | (20) | (20) | (20) | (30) | (20) | (10) | (30) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. int. | −3·9 | +3·0 | +1·2<br>+4·0 | −13·9<br>+15·7 | +10·0 | +1·2 | −10·7<br>+20·3 | −52·3<br>+86·0 |
| Sart. | −15·6 | +3·1 | −15·7<br>+13·6 | −41·3<br>+13·6 | −3·4 | −4·0 | −44·8<br>+27·0 | −172·1<br>+165·9 |
| Add.m. | +7·6 | +9·4 | −32·2<br>+26·2 | −73·2<br>+76·7 | −14·1 | +8·3 | −37·2<br>+66·2 | −295·9<br>+284·2 |
| Sem. | −24·2 | +10·2 | −48·9<br>+28·2 | −110·6<br>+45·8 | −42·0 | −4·4 | −52·2<br>+34·1 | −310·8<br>+218·2 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. A. | −18 | −21 | −8<br>−2 | −74<br>+32 | −109<br>+84 | −35<br>+52 | −13 |
| VI. A. | −43 | −17 | −149<br>+19 | −187<br>+89 | −221<br>+114 | −34<br>+25 | −64 |
| II. A. | −44 | +17 | −23<br>+12 | −184<br>+37 | −147<br>+63 | +37<br>+26 | −29 |
| II. B. | −3 | +45 | −128<br>+82 | −201<br>+124 | −216<br>+120 | −15<br>−4 | −57 |
| III. A. | −5 | +76 | −41<br>+35 | −179<br>+101 | −158<br>+110 | +21<br>+9 | −5 |
| III. B. | +14 | +32 | −25<br>+63 | −111<br>+103 | −176<br>+85 | −65<br>−18 | −71 |
| IV. A. | −24 | −8 | −37<br>+8 | −92<br>+5 | −177<br>+69 | −85<br>+64 | −30 |
| IV. B. | −32 | +1 | −64<br>+14 | −136<br>+16 | −209<br>+61 | −79<br>+45 | −29 |
| V. A. | +33 | +10 | −60<br>+12 | −67<br>+81 | −87<br>+96 | −20<br>+15 | +1 |
| V. B. | −29 | −12 | −34<br>−36 | −72<br>−4 | −114<br>+67 | −42<br>+71 | −9 |
| Mittel | −15.1 | +12·3 | −56·9<br>+20·7 | −129·7<br>+58·4 | −161·4<br>+86·9 | −31·7<br>+28·5 | −30·6 |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I. A. | | −270<br>+178 | −47 | −57 | −39 | −33 | |
| I. B. | −44 | −272<br>+186 | −15 | −28 | −17 | −6 | |
| II. A. | | −272<br>+223 | −23 | −38 | −51 | −25 | |
| II. B. | −10 | −338<br>+212 | −69 | −50 | −33 | −43 | |
| III. A. | −25 | −295<br>+193 | −30 | −15 | −31 | −20 | |
| III. B. | −6 | −284<br>+209 | −37 | −10 | −18 | −3 | |
| IV. A. | | −264<br>+205 | −30 | −19 | −33 | | |
| IV. B. | −37 | −268<br>+197 | −38 | −9 | −20 | | |
| V. A. | | −261<br>+183 | −45 | −49 | −26 | −48 | |
| V. B. | −19 | −293<br>+224 | −33 | −28 | −33 | −65 | |
| Mittel | −23·5 | −281·6<br>+201·0 | −36·7 | −30·3 | −31·1 | −30·4 | |

**Tabelle VIII.** (S. 170. 171.)

| Stromstärken in Scalentheilen | Muskel durch zwei symmetr. Querschn. begrenzt, im Aequator durchschnitten nach | I. A. 6ʰ | I. B. 6ʰ | II. A. 16ʰ | II. B. 16ʰ | III. A. 23ʰ | III. B. 23ʰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R. int. | Ob. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | −4 | −3 | −3 | +12 | −1 | +1 |
| | Unt. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | +13 | −2 | +2 | −3 | +7 | −7 |
| Sartor. | Ob. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | +4 | +15 | −6 | — | −12 | +7 |
| | Unt. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | −3 | −5 | −18 | — | −11 | −16 |
| Add. m. | Ob. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | +8 | −6 | −9 | −3 | −13 | +3 |
| | Unt. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | +38 | +67 | +73 | +31 | +78 | +83 |
| Semim. | Ob. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | +14 | −4 | −9 | −10 | −8 | +3 |
| | Unt. Abschn. } zwischen d. beiden Querschn. | −25 | +5 | +4 | +13 | +25 | +9 |



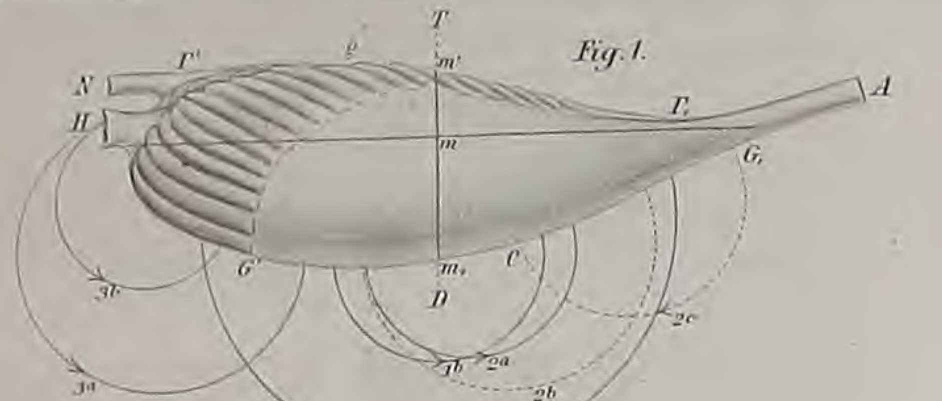


Fig. 1.

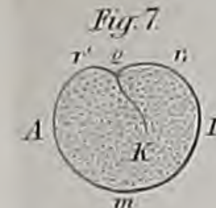


Fig. 7.

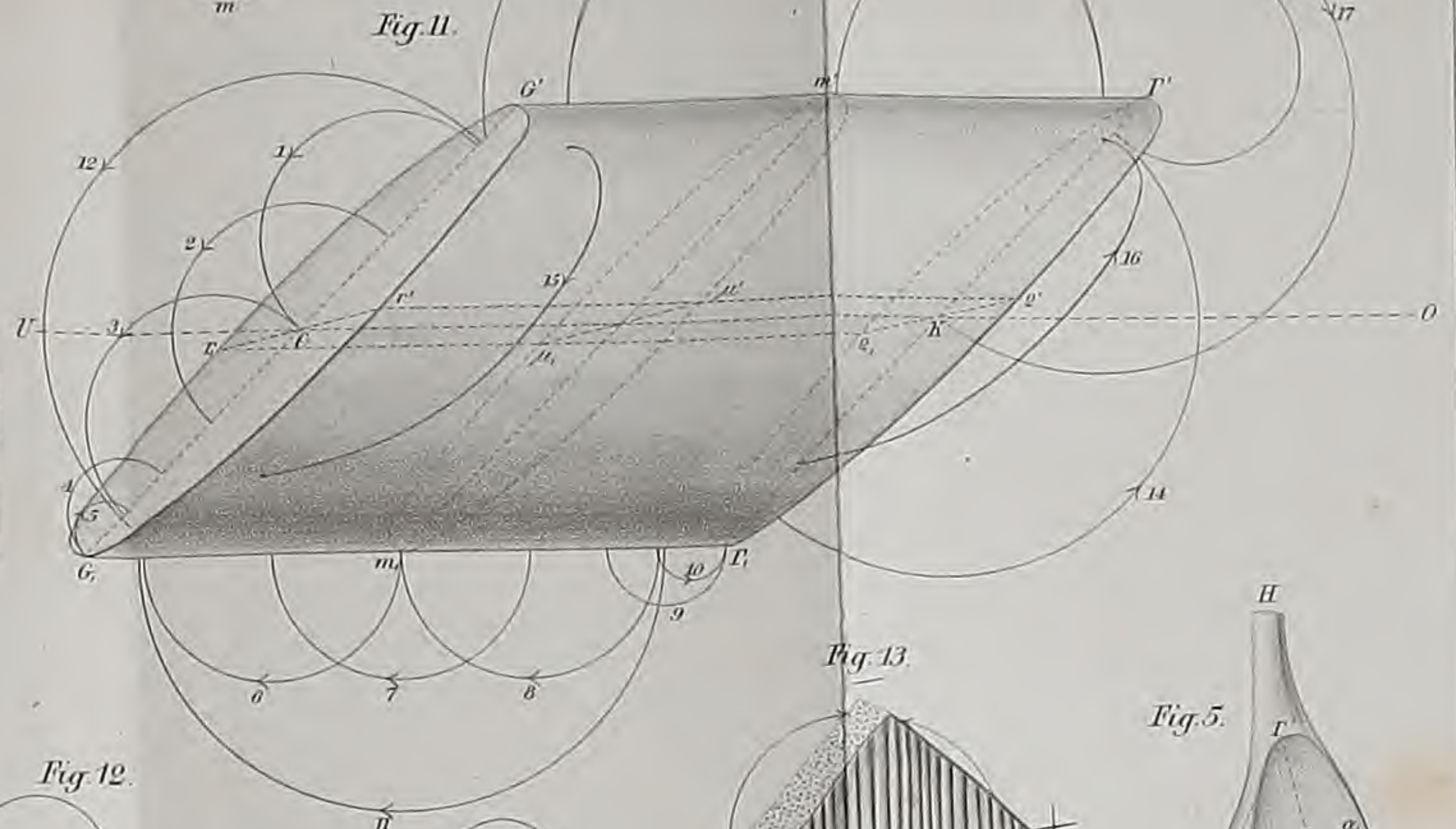


Fig. 11.

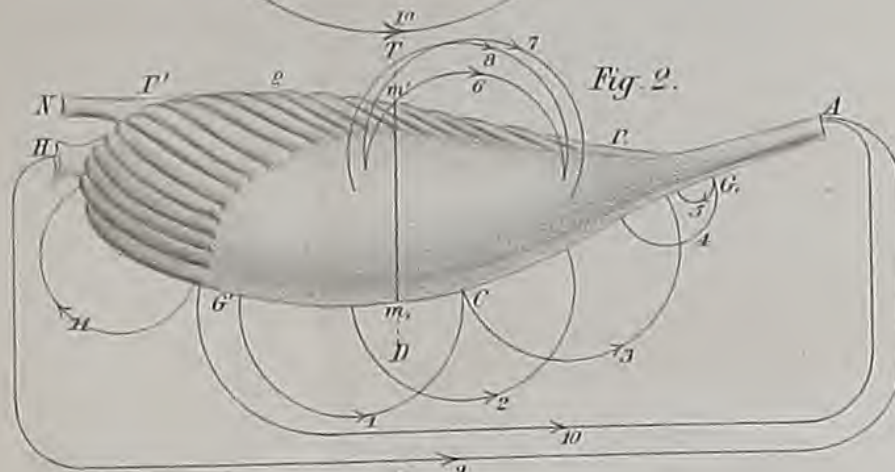


Fig. 2.

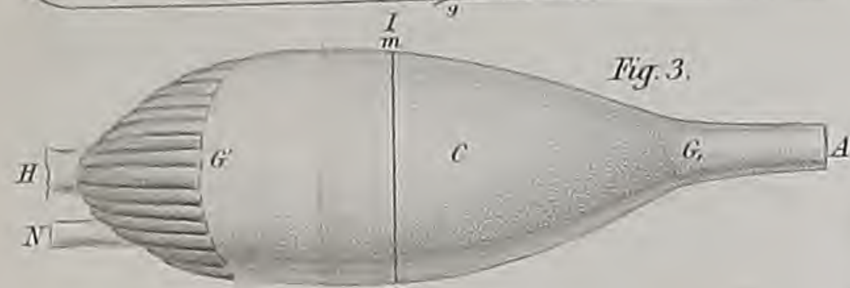


Fig. 3.

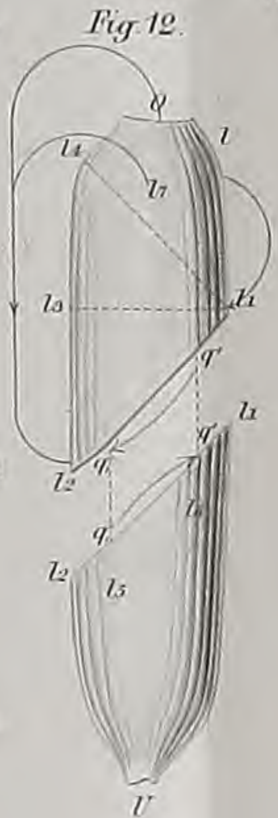
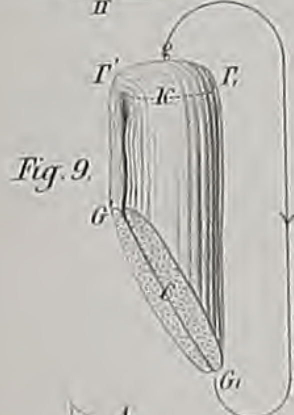
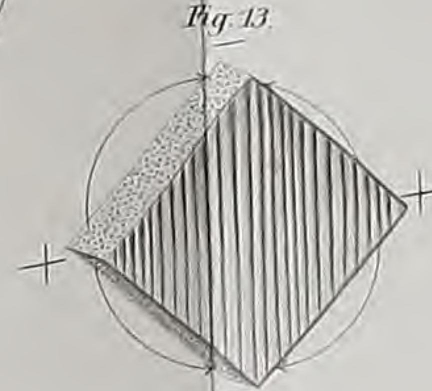


Fig. 12.


Fig. 9.


Fig. 13.

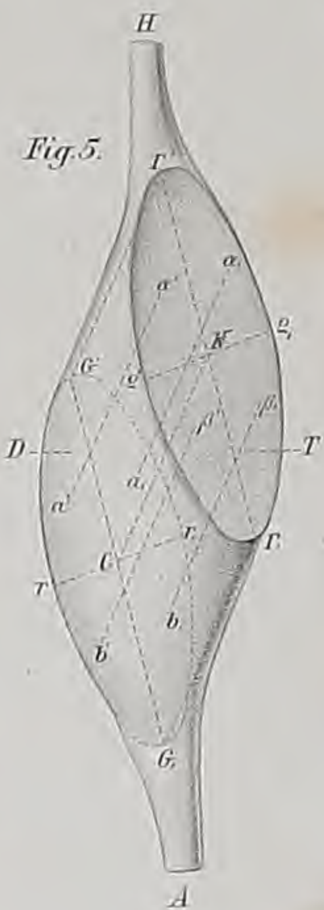


Fig. 5.

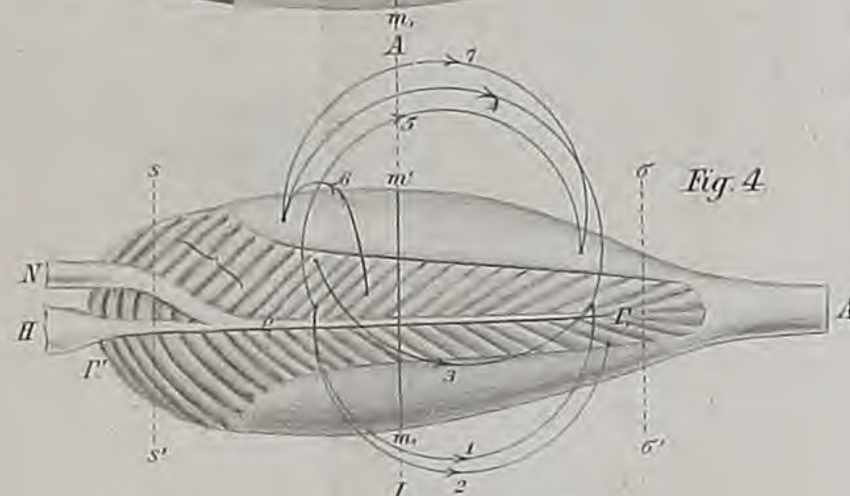


Fig. 4.

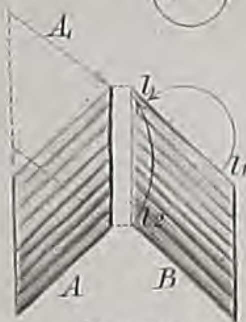


Fig. 20.

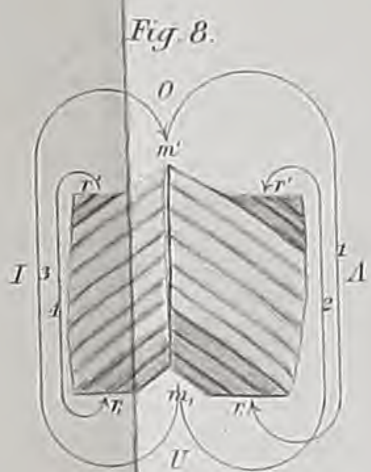


Fig. 8.

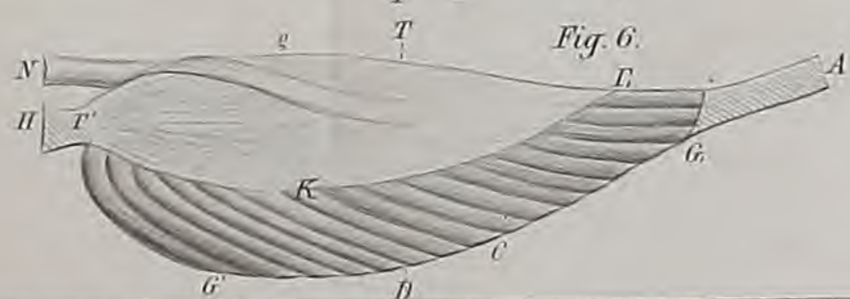


Fig. 6.

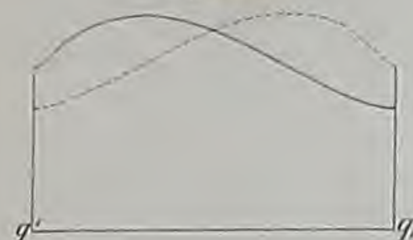


Fig. 21.

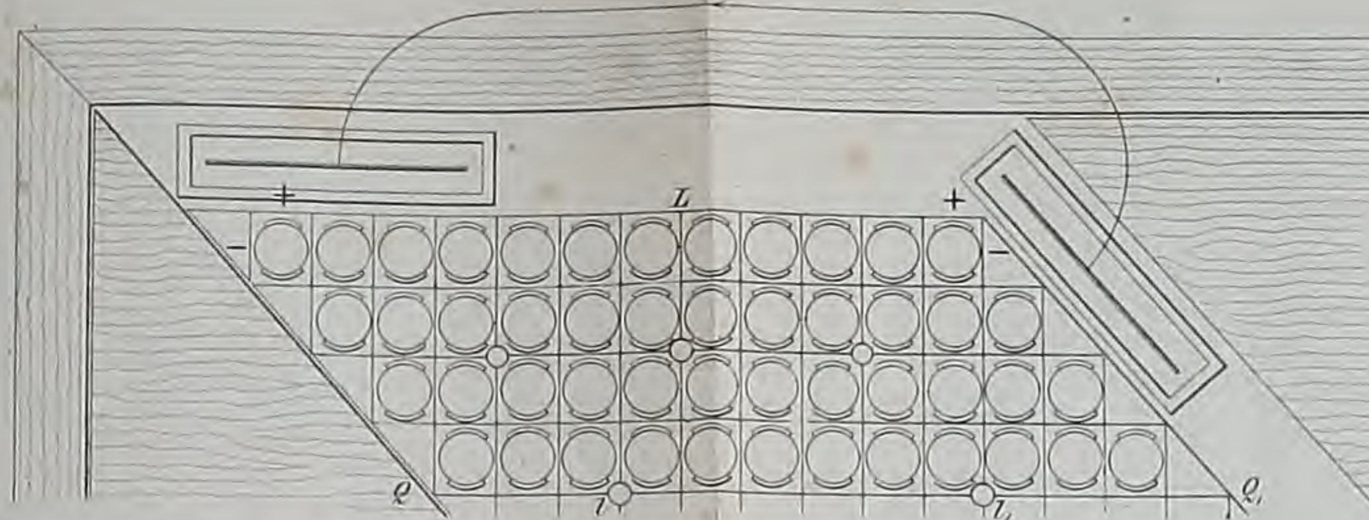


Fig. 14.

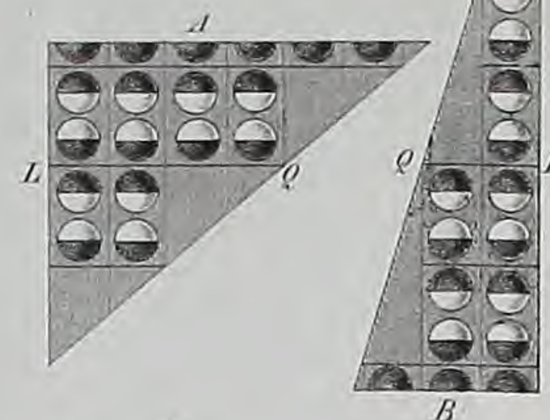


Fig. 19.

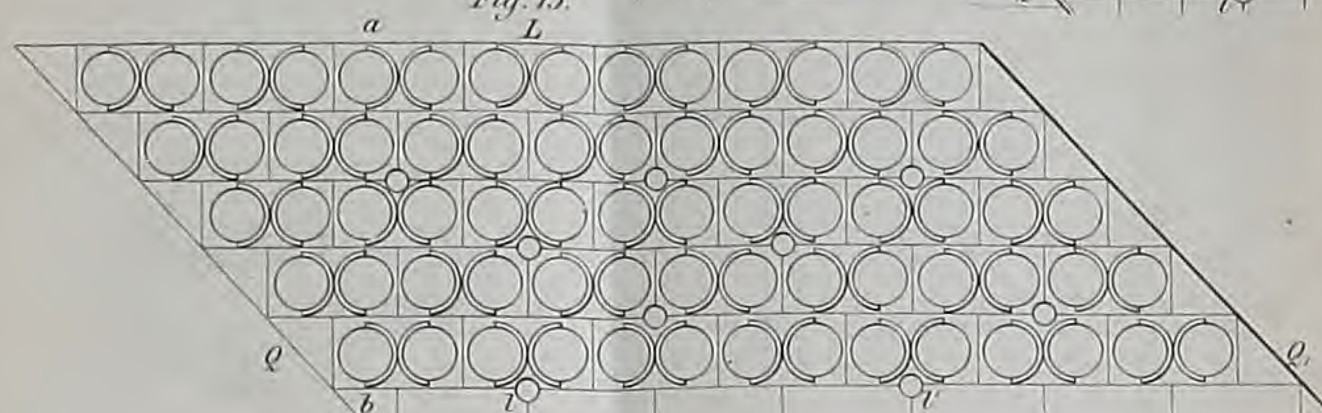


Fig. 15.

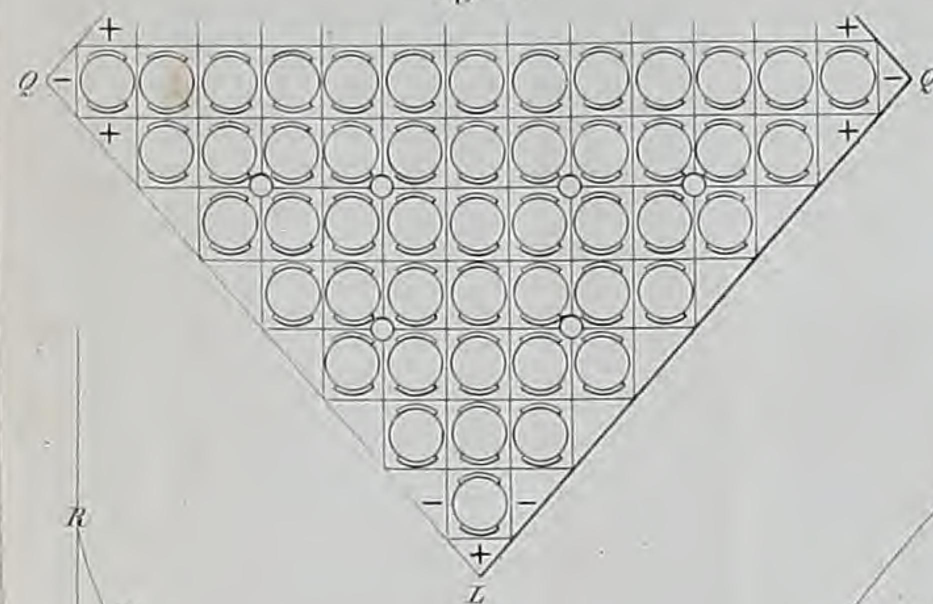


Fig. 17.

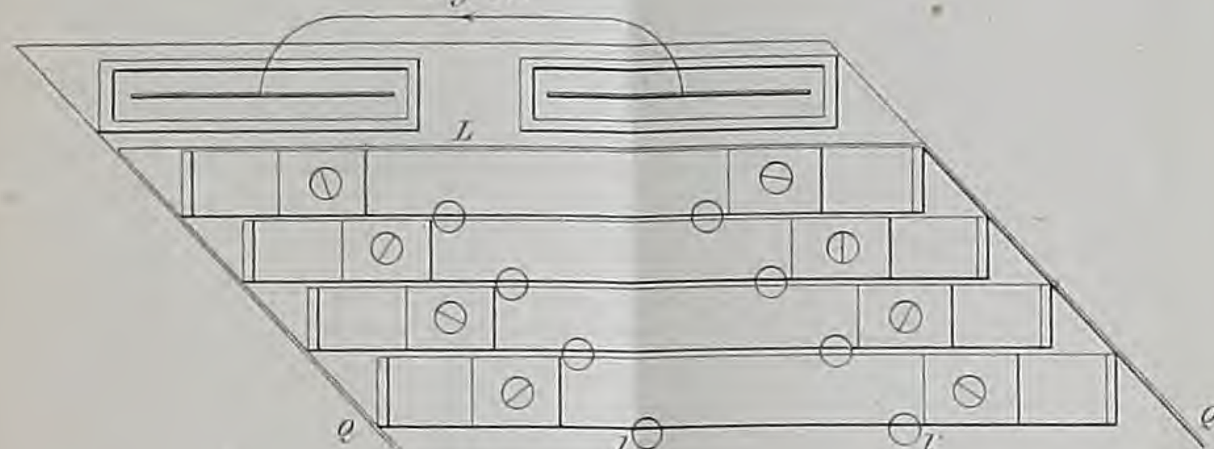


Fig. 16.

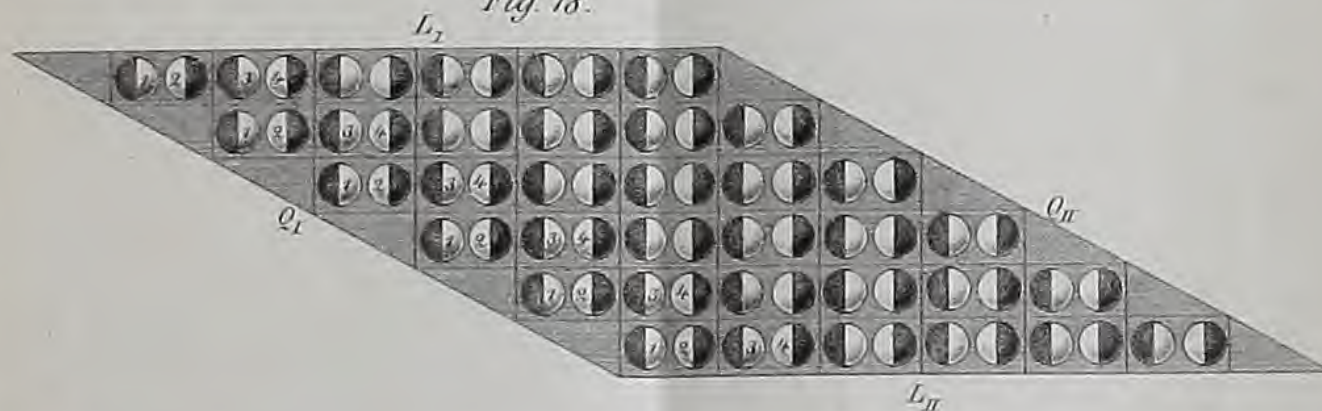


Fig. 18.

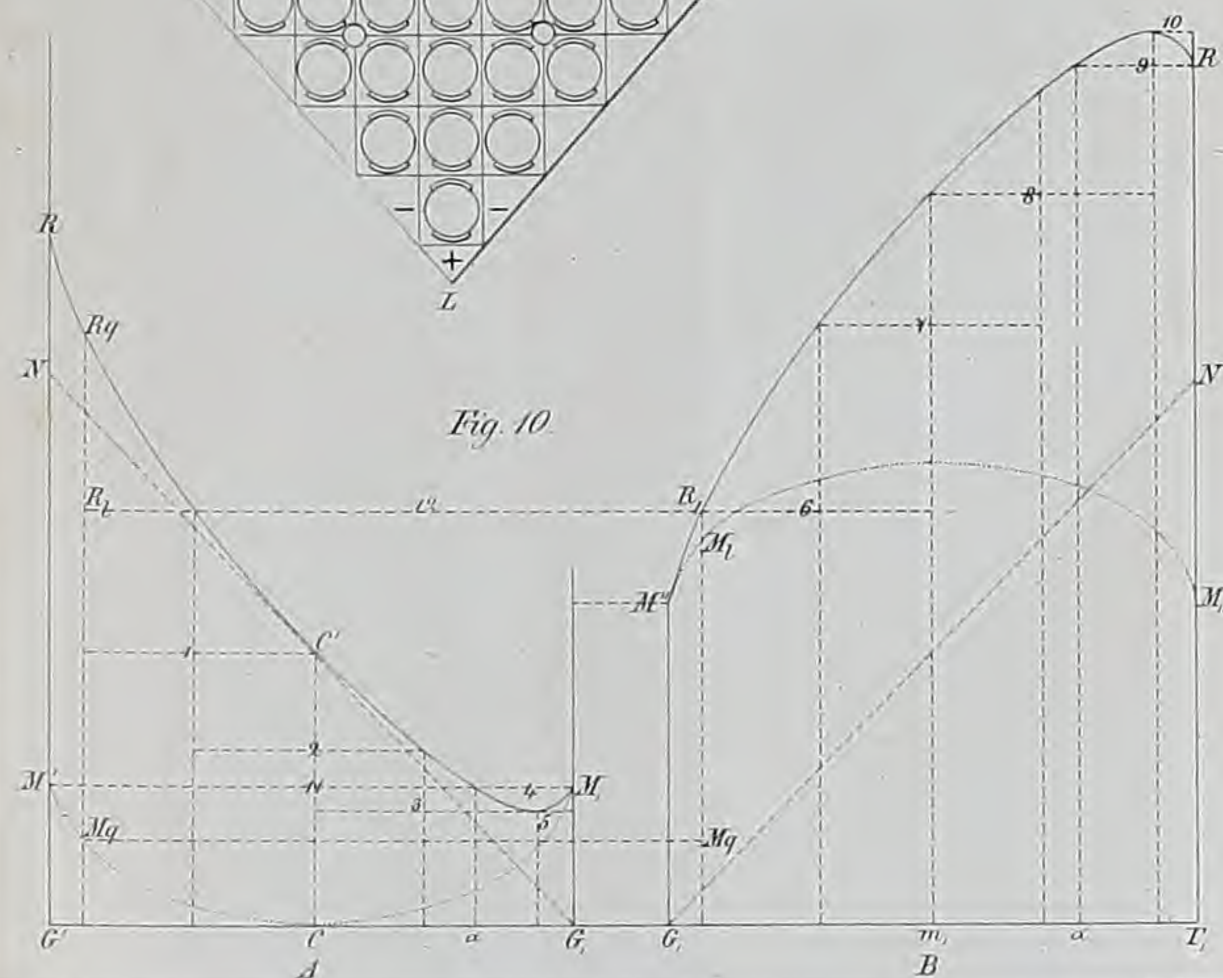
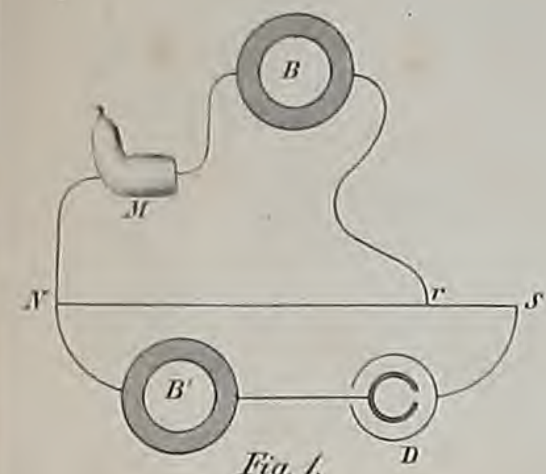
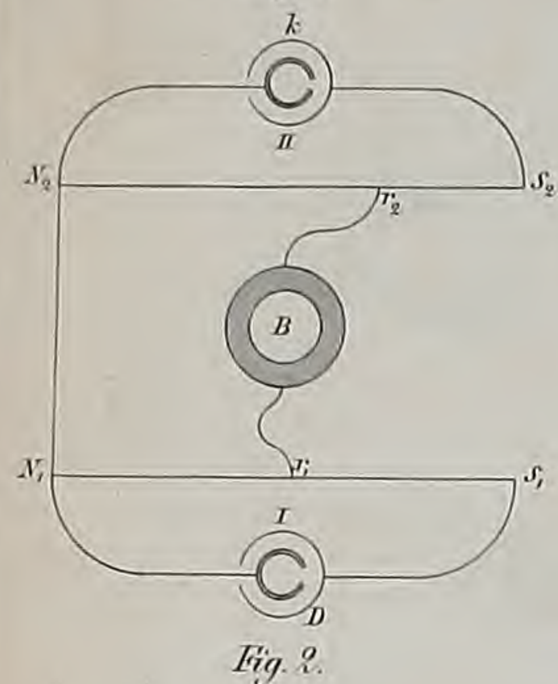
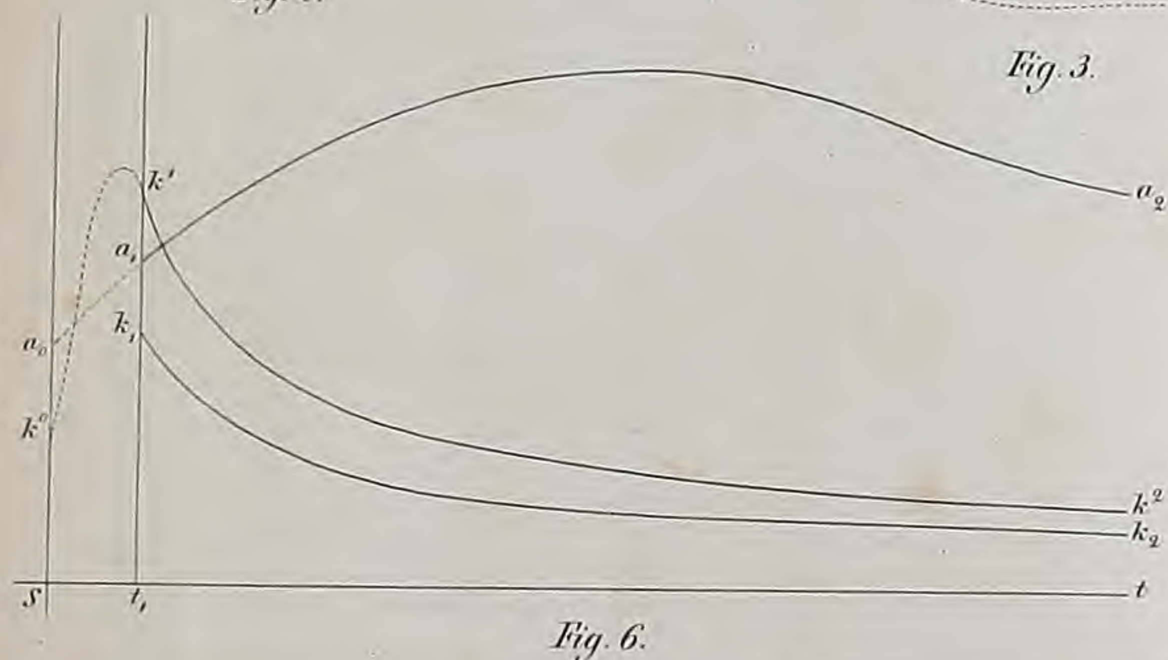
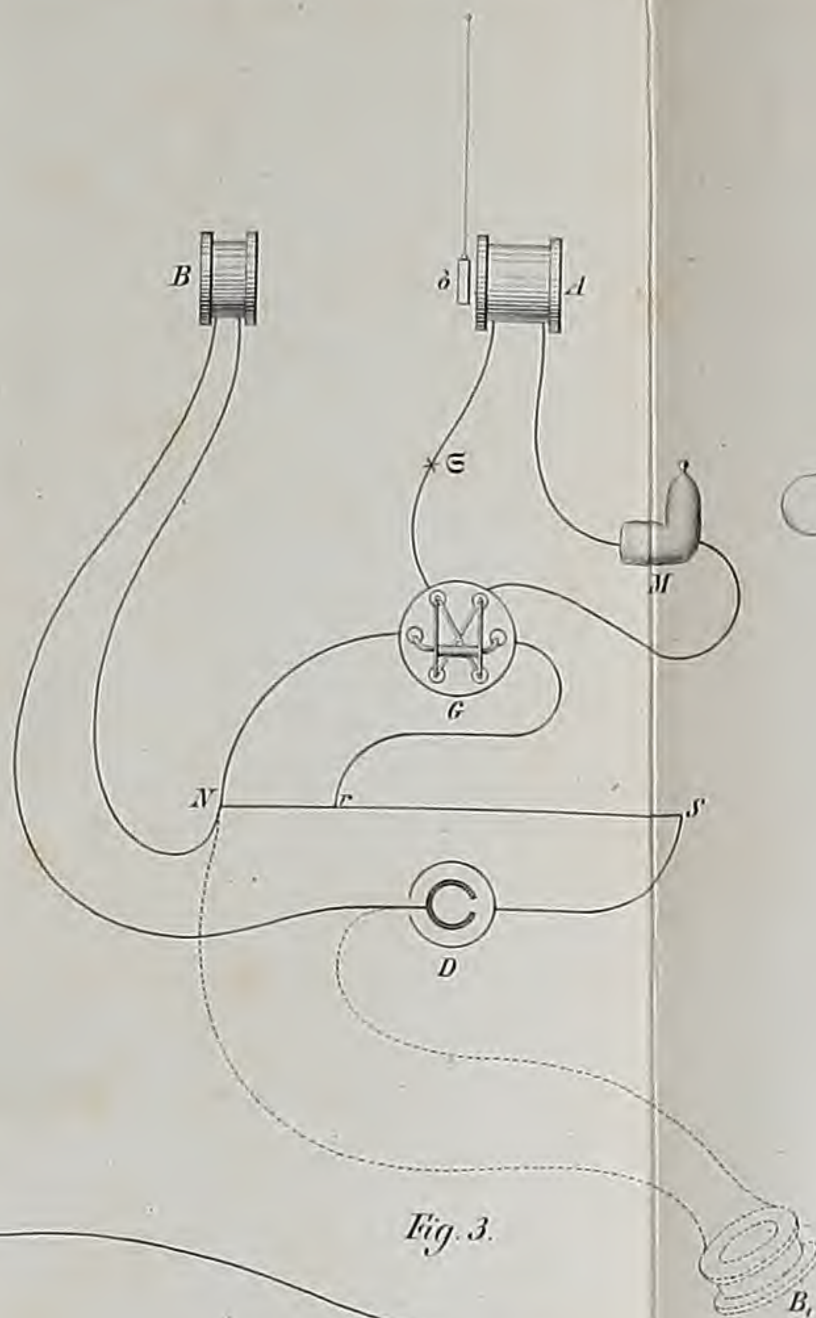


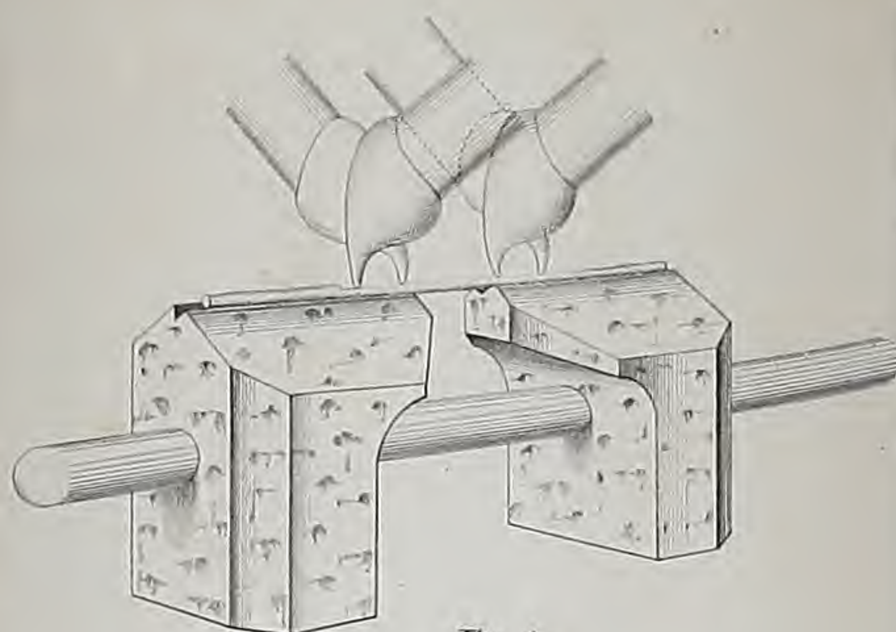
Fig. 10.

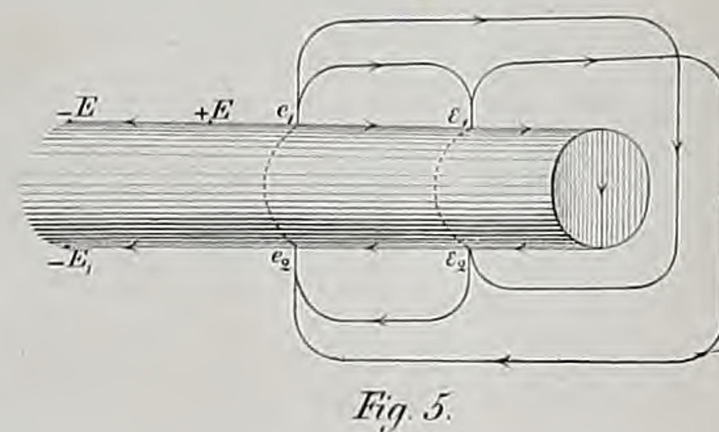

Fig. 1.

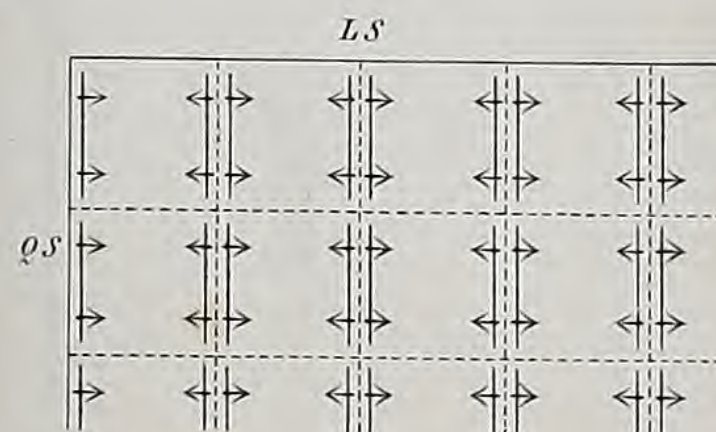

Fig. 2.

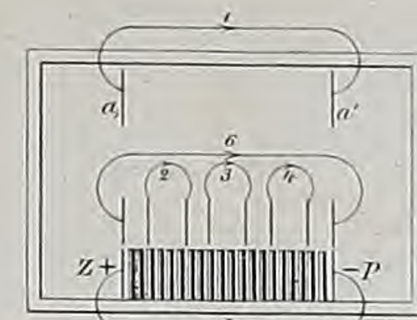

Fig. 6.


Fig. 3.


Fig. 4.


Fig. 5.


Fig. 7.


Fig. 8.

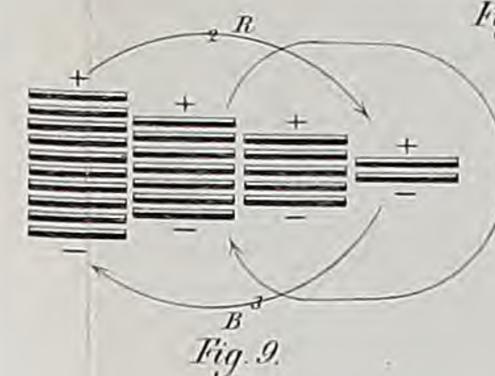
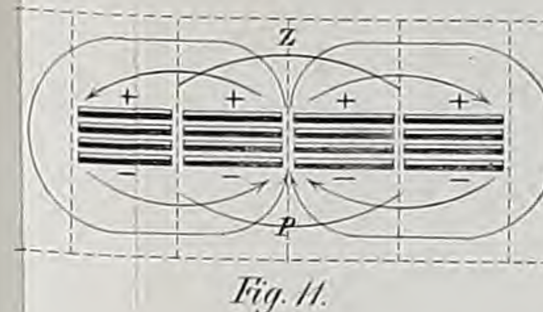
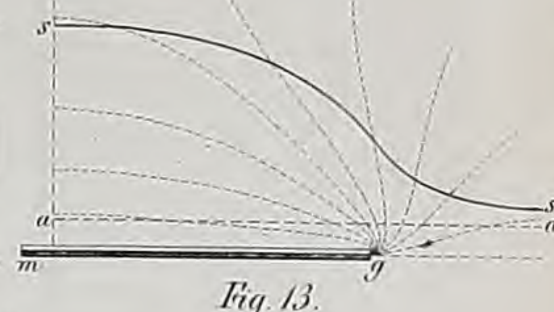

Fig. 9.


Fig. 10.


Fig. 11.


Fig. 13.

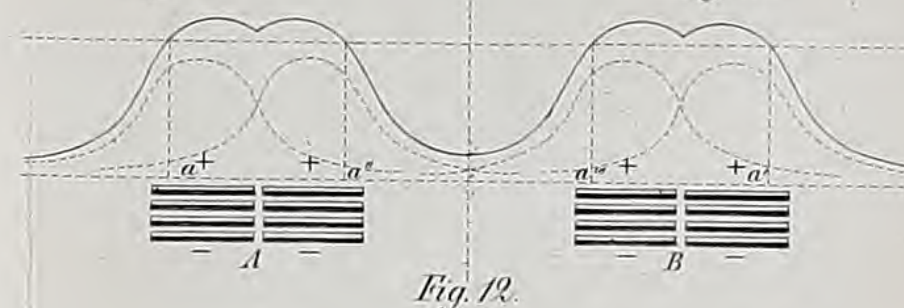

Fig. 12.


Fig. 14.

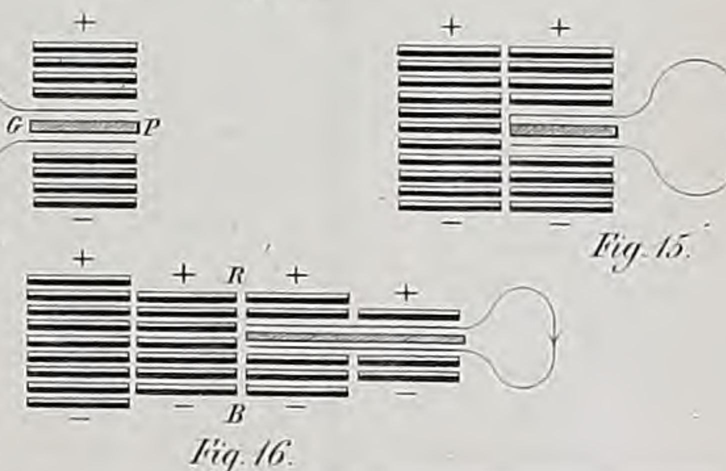

Fig. 15.

Fig. 16.

E. du Bois-Reymond gez. Laue lith.